

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**

**Escuela Politécnica Superior**

**Área de Ingeniería de Organización**



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE FLUJO  
PIEZA A PIEZA EN UN ENTORNO DE FABRICACIÓN  
SINGULAR”**

**Autor: Cristina Moreno Moraleda**

**Tutor: Gil Gutiérrez Casas**

## ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción	7
1.1. Introducción	7
1.2. Objetivos del proyecto	7
1.3. Estructura del proyecto fin de carrera	8
1.4. Estructura del documento	8
Capítulo 2: Grupo Knorr-Bremse	9
2.1. Grupo Knorr-Bremse	9
2.2. Merak	9
Capítulo 3: Sistema de producción Knorr-Bremse y sus productos	11
3.1. Introducción	11
3.2. Sistema de producción de Knorr-Bremse	11
3.3. Producto - equipos de climatización	11
Capítulo 4: Lean Manufacturing aplicado al Sistema de producción de Knorr-Bremse	13
4.1. Introducción	13
4.2. Origen y definición del Lean Manufacturing	13
4.2.1. Valor	14
4.2.2. Cadena de valor	14
4.2.3. Flujo	14
4.2.4. Sistema “Pull” o arrastre	14
4.2.5. Perfección: Mejora continua	15
4.3. Principios y herramientas de la filosofía Lean	16
4.3.1. Los 7 desperdicios	16
4.3.2. Mapeo de la cadena de valor (“Value Stream Mapping”)	17
4.3.3. 5S	19
4.3.4. Mantenimiento Productivo Total	21
4.3.5. Cadencia (Takt Time)	23
4.3.6. Pieza a pieza	24
4.3.7. S.M.E.D	25
4.3.8. Estandarización	25
4.3.9. Gestión visual	26
4.3.10. Poka-Yoke	27

4.3.11. Nivelado (“Heijunka”)	29
4.3.12. Kanban	29
4.3.13. FIFO	33
4.3.14. Círculo de Deming - PDCA	34
4.3.15. AMFE – Análisis Modal de Fallos y Efectos	35
4.3.16. 6 Sigma	36
Capítulo 5: Análisis de métodos y tiempos	37
5.1. Introducción	37
5.2. Ingeniería de métodos	37
5.3. Medición del trabajo	38
5.4. Gestión de material	39
Capítulo 6: Organización y mejora de la distribución en planta	40
6.1. Introducción	40
6.2. Distribución por posición fija	41
6.3. Distribución por proceso o funciones	41
6.4. Distribución por producto o en serie	42
6.5. Células de fabricación flexible o células de trabajo	42
Capítulo 7: Análisis y estudio del modelo de trabajo	44
7.1. Introducción	44
7.2. El mercado y el modelo de producción	44
7.3. Lugar de trabajo	45
7.3.1. Equipo de trabajo	45
7.3.2. Rotación	45
7.3.3. Horario laboral	46
7.3.4. Gestión de herramientas	47
7.3.5. Fichas e internos	47
Capítulo 8: Aplicación e implantación de un sistema pieza a pieza	49
8.1. Introducción	49
8.2. Definición de objetivos	52
8.2.1. Definición de productos	52
8.2.2. Análisis de la demanda de la producción – Nivelación	52
8.2.3. Eficiencia Global de la Instalación (OEE – Overall Equipment Efficiency)	53
8.2.4. Capacidad del proceso – Takt time	54

8.3. Estudio del proceso	55
8.3.1. Mapeo de pérdidas (Waste mapping)	55
8.3.2. Actividades de valor añadido	58
8.4. Análisis de los resultados	59
8.4.1. Equilibrado de líneas	60
8.4.2. Sistema de producción por lotes	63
8.5. Desarrollo e implantación del plan de acción	66
8.5.1. Distribución de planta – Layout	66
8.5.2. Kanban	68
8.5.3. Paneles de herramientas	70
8.5.4. Carros de componentes	72
8.5.5. Poka-Yoke para conectores	78
8.5.6. Manual de instrucciones	79
8.5.7. Producción pieza a pieza	79
8.6. Resultados obtenidos y mejora continua	83
8.7. Resumen	84
8.8. Retos – Futuras mejoras	84
8.8.1. Incorporación del corte de cable a la línea de producción	85
8.8.2. Kanban de producto terminado	87
Capítulo 9: Conclusiones	89
Bibliografía	91
Anexo 1. Mapeo de pérdidas – Situación inicial	92
Anexo 2. Análisis de actividades de valor añadido – Situación inicial	100
Anexo 3. Mapeo de pérdidas – Situación final	108
Anexo 4. Suministro real de material y producción por lotes	116
Anexo 5. Análisis de trabajo en curso en un sistema de producción por lotes	117
Anexo 6. Producción por lotes – Análisis monetario	118
Anexo 7: Análisis de actividades de valor añadido – Situación final	119
Anexo 8. Corte de cable	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 - Los cinco pilares del Lean Manufacturing.	13
Figura 4.2 - Sistema de flujo tradicional y continuo.	14
Figura 4.3 - Pilares del Lean Manufacturing y sus herramientas.	16
Figura 4.4 - Clasificación de las 5S	19
Figura 4.5: Pilares del TPM.	22
Figura 4.6: Pasos para la implementación de la gestión visual.	26
Figura 4.7: Proceso FIFO.	33
Figura 8.1: Componentes del OEE.	53
Figura 8.2: Distribución de planta de la línea de mazos	68
Figura 8.3: Ejemplo kanban.	69
Figura 8.4: Tablero de herramientas de las estaciones 2 y 3	71
Figura 8.5: Distribución “line feeder” y kanban de carros de componentes.	74
Figura 8.6: Etiqueta de lista de componentes.	75
Figura 8.7: Fotografía de la gaveta con el código y cantidad de cada componente	75
Figura 8.8: Parte delantera de carro de herramientas	76
Figura 8.9: Parte trasera carro de componentes	77
Figura 8.10: Kanban de corte de cable	87
Figura 8.11: Kanban final	88

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 - Cronograma del proyecto fin de carrera	8
Tabla 8.1: Cronograma del proyecto en empresa	52
Tabla 8.2: División del tiempo de trabajo por operación y estación	56
Tabla 8.3: Tiempo de trabajo para cada equipo por estación	57
Tabla 8.4: División del tiempo de trabajo por unidad de producto	58
Tabla 8.5: Tiempo final total de producción	61
Tabla 8.6: División del tiempo de trabajo por operación	61
Tabla 8.7: Tiempo de proceso por estación	62
Tabla 8.8: Valores representativos de la línea de producción	63
Tabla 8.9: Margen real de los puestos de trabajo	63
Tabla 8.10: Tiempo de fabricación por estación de trabajo	64
Tabla 8.11: Tiempo disponible	64
Tabla 8.12: Productividad por estación	64
Tabla 8.13: Promedio de unidades al día en cada estación	64
Tabla 8.14: Valor monetario por estación	65
Tabla 8.15: Valor monetario acumulado	65
Tabla 8.16: Valor monetario promedio del material en curso	65
Tabla 8.17: Inventario intermedio en unidades	80
Tabla 8.18: Inventario intermedio en valor monetario	80
Tabla 8.19: Datos de la producción de corte de cable	85

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 8.1: Representación del tiempo de producción de las operaciones del proceso	58
Gráfico 8.2: Representación del tiempo de trabajo	59
Gráfico 8.3: Clasificación del tiempo de trabajo	60
Gráfico 8.4: Tiempo por operación	63
Gráfico 8.5: Situación inicial – Actividades de valor añadido	82
Gráfico 8.6: Situación futura – Actividades de valor añadido	83
Gráfico 8.7: Situación inicial – Tiempo de operación	83
Gráfico 8.8: Situación futura – Tiempo de operación	84

## **Capítulo 1: Introducción**

### **1.1. Introducción**

Este proyecto es el resultado de una beca de colaboración en el grupo Knorr-Bremse y nace a partir de una idea de mejora en el proceso productivo de sistemas de climatización para vehículos ferroviarios.

Si bien el trabajo realizado en Knorr-Bremse ha consistido en la realización de diversas tareas de apoyo para la implementación de la filosofía Lean Manufacturing en las diferentes subdivisiones del grupo, este proyecto pretende analizar la aplicación de los conceptos y herramientas de la filosofía Lean únicamente en la producción de sistemas de climatización.

La razón fundamental que ha llevado a escoger la fabricación de los sistemas de climatización para llevar a cabo este trabajo ha sido que este proceso productivo presenta unas características muy peculiares. Las líneas de producción que son objeto de estudio se encuentran situadas en el interior de un recinto penitenciario, donde son los propios internos los operarios encargados de la producción.

### **1.2. Objetivos del proyecto**

Este proyecto tiene como objetivos finales la reducción de tiempos de espera, la eliminación de inventario intermedio en tránsito, transporte y movimientos en una línea de producción inicialmente enfocada a la fabricación por lotes. Para ello, se pretende implantar un sistema de producción pieza a pieza, en el cual las piezas son fabricadas de una en una y cada una de ellas pasa al proceso siguiente sin interrupciones y de forma continua.

Para alcanzar estos objetivos se analizan las distintas opciones y recursos existentes bajo la filosofía Lean Manufacturing que permiten aumentar las actividades que aportan valor a la línea, mejorando su productividad y reduciendo sus costes.

Además, debido al entorno de trabajo tan peculiar donde se desarrolla el presente proyecto, el plan de actuación está condicionado por restricciones tanto externas, por parte del centro, como internas, relativas a los operarios residentes del centro penitenciario. Esto lleva a que la implementación del proyecto requiera la toma de medidas especiales y mayor tiempo para la puesta en marcha.



### 1.3. Estructura del proyecto fin de carrera

El cronograma del presente proyecto fin de carrera se define en la tabla 1.1:

Fases	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Recaudación de información						
Diseño						
Redacción						

Tabla 1.1: Cronograma del proyecto fin de carrera

### 1.4. Estructura del documento

El presente documento se encuentra estructurado en nueve capítulos. El primer capítulo permite al lector conocer los temas que se tratan en este proyecto.

En los capítulos 2 y 3 se presenta el Grupo Knorr-Bremse junto a sus divisiones de producción y su situación en el mercado. En el capítulo 3 se describen de forma resumida las características del producto objeto de estudio en este proyecto.

Los capítulos 4, 5 y 6 abarcan distintas áreas que serán utilizadas en el caso práctico, de forma que permiten crear un marco teórico necesario para entender con mayor facilidad el proyecto. En el capítulo 4 se presenta la filosofía Lean Manufacturing, a través de sus conceptos y herramientas principales. El capítulo 5 describe el procedimiento a seguir para llevar a cabo un análisis de métodos y tiempos. Por último, en el capítulo 6 se describen las diferencias y aplicaciones de las posibles distribuciones en planta.

En el capítulo 7 se define el entorno de trabajo y se detallan sus características principales.

En el capítulo 8 se presenta la aplicación al caso práctico de los conceptos y herramientas estudiados anteriormente en los capítulos 4, 5 y 6. En este capítulo se detallan los objetivos a alcanzar, el procedimiento a seguir y la duración del proceso de implementación.

Finalmente, en el capítulo 9, se resumen las principales conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto, analizando las dificultades encontradas y los retos a conseguir en el futuro.

## Capítulo 2: Empresas y productos del grupo Knorr-Bremse

### 2.1. Grupo Knorr-Bremse

El grupo Knorr-Bremse es el líder mundial en la fabricación de sistemas de frenos para vehículos ferroviarios e industriales. Su actividad se centra en el desarrollo, la producción y la venta de sistemas modernos de frenos para diferentes aplicaciones en el sector de los vehículos ferroviarios e industriales, tareas que viene realizando desde hace más de 100 años.

Además, Knorr-Bremse abarca otros campos como son: sistemas de puertas y sistemas de aire acondicionado para vehículos ferroviarios, así como amortiguadores de oscilaciones torsionales para motores de combustión interna.

El grupo Knorr-Bremse se divide fundamentalmente en dos sectores de negocio:

- Sistemas para vehículos ferroviarios
- Sistemas para vehículos Industriales

La empresa española se encuentra dentro del primer sector y fabrica sistemas tanto para vehículos ferroviarios de servicio local como de servicios de largo recorrido. Knorr-Bremse es uno de los fabricantes líderes en sistemas de frenos y sistemas de abordó (on-board) para vehículos ferroviarios.

La división de vehículos ferroviarios de Knorr-Bremse en España está formada por las siguientes empresas:

- Sociedad Española de Frenos, Calefacción y Señales, S.A.
- Merak, Sistemas Integrados de Climatización, S.A.

### 2.2. Merak

Desde hace más de 45 años, Merak se ha especializado en el diseño y la fabricación de equipamiento de calefacción, ventilación y aire acondicionado para vehículos ferroviarios y actualmente ya supera los 45.000 equipos funcionando en todo el mundo, con una variada oferta de más de 200 tipos de diseños.

Merak tiene una gran relevancia mundial y está presente en tres de los cinco continentes y en casi todos los países europeos. Uno de los factores principales que les ha permitido crecer y destacar en el mercado mundial ha sido su especial interés en el desarrollo de nuevas tecnologías, a través de la investigación y la innovación.

Existen dos aspectos básicos que definen su filosofía de trabajo:

- Calidad
- Mejora continua

#### Calidad:

Se considera fundamental trabajar y asegurar la calidad del producto, no sólo en el entorno productivo sino también creando un ambiente de trabajo en equipo con los proveedores, desarrollando un proyecto conjunto con el que asegurar la calidad del producto desde el origen.

#### Mejora continua:

Tanto la calidad del producto como la de los proveedores y la de los procesos productivos se evalúan de forma continua mediante distintas herramientas, con el fin de identificar las áreas de mejora potencial. A lo largo de este proyecto, se verán algunas de ellas.

## **Capítulo 3: Sistema de producción de Knorr-Bremse y sus productos**

### **3.1. Introducción**

En este capítulo se trata de dar al lector una visión general acerca de la filosofía implantada por el grupo Knorr-Bremse en el sistema productivo. Y por otro lado, le invita a conocer los diferentes tipos de productos disponibles en el centro de trabajo a estudiar.

### **3.2. Sistema de producción de Knorr-Bremse**

El objetivo del sistema de producción de Knorr-Bremse es fabricar productos de alta calidad, con los menores tiempos de fabricación y la mayor fiabilidad de entregas posibles, y con unos costos adecuados. De forma que se pueden resumir los aspectos claves de su filosofía en:

- Producción en flujo:

Se va a producir exactamente lo que el cliente pide, y se va a entregar cuando el cliente quiere. Esto es aplicable también a los distintos procesos internos, que son considerados como clientes y proveedores de otros procesos internos.

- Procesos y productos seguros:

Tanto los procesos de producción como los productos serán diseñados con la estrecha colaboración de clientes y proveedores, reduciendo así al mínimo las posibilidades de fallo. De esta forma se aumentará la efectividad en las entregas y la calidad.

- Eliminación de despilfarros:

A través de la mejora continua, se detectan y corrigen todo tipo de desperdicios en la producción.

- Trabajadores orientados a objetivos:

Serán fundamentales la responsabilidad de los empleados, el trabajo en equipo y el aprendizaje continuo.

### **3.3. Producto - equipos de climatización**

Como se indicó anteriormente, la empresa Merak se ha especializado en el diseño y la fabricación de sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado para todo tipo de ferrocarriles y para una gran variedad de condiciones climáticas.

Dentro de nuestra planta de producción existen distintas células o divisiones con subconjuntos independientes que funcionan como clientes y proveedores entre ellos.

Se pueden clasificar dichas células o divisiones en:

- Nave 1: Cabinas y aparatos eléctricos
- Nave 2: Conductos, cajas de mezcla de aire y ventiladores
- Nave 3: Salas, prueba de lluvia o estanqueidad y pruebas funcionales
- Nave 4: Aparatos eléctricos, mazos eléctricos, paneles y corte y desforre de cables
- Nave 5: Preparación de estructuras

El trabajo realizado en este proyecto se ha centrado en el subconjunto denominado “mazos eléctricos”. Se denomina así a todo el cableado y sistema de conexión que controla el equipo de climatización.

Y más en concreto, nuestro proyecto estará enfocado en la gestión y producción de dos modelos similares de mazos eléctricos (RGV1 y RGV2), que juntos cuentan con una demanda estable.

## Capítulo 4: Lean Manufacturing aplicado al Sistema de producción de Knorr-Bremse

### 4.1. Introducción

En este capítulo se presentan los fundamentos de algunas metodologías y herramientas de organización de la producción que se han utilizado en este proyecto fin de carrera para así ayudar al lector a entender el caso práctico que se presenta a continuación.

### 4.2. Origen y definición del Lean Manufacturing

El sistema Lean Manufacturing tiene su origen en el sistema de producción desarrollado por la empresa japonesa Toyota Motor Company en los años 50. Este sistema aparece como observación de los modelos productivos americanos y su comparación con el mercado japonés. Su creador fue Taiichi Ohno, un ingeniero mecánico que entendía el proceso de producción como un flujo visto desde el final, en el cual las actividades finales de montaje van "tirando" de los procesos precedentes.

Será durante la crisis del petróleo, en los años 70, cuando se demuestre la superioridad del sistema Lean, ayudando a la compañía Toyota a recuperarse y salir hacia delante de forma rápida y menos dolorosa que el resto de sus competidores de la industria del automóvil.

Sin embargo, no será hasta la década de los años 80 cuando empresas japonesas, americanas y europeas empiecen a aplicar dicho sistema.

La filosofía Lean es un sistema de gestión constituido por un conjunto de técnicas y prácticas de organización de la producción cuyo objetivo es satisfacer al cliente cuando éste lo precise y en la cantidad y calidad requeridas.

Los cinco pilares de esta filosofía son:



Figura 4.1: Los cinco pilares del Lean Manufacturing. Fuente: Elaboración propia

#### 4.2.1. Valor

El valor hace referencia a la percepción que tienen los clientes de un producto o servicio. Se define valor como todo aquello que hace que se cumplan los requisitos del cliente, con un nivel de calidad, un coste y un plazo de tiempo esperado y por el cual el cliente está dispuesto a pagar.

#### 4.2.2. Cadena de valor

La cadena de valor es una representación gráfica en la que se muestra el proceso de generación de valor a través de todas las actividades de una organización. Este ejercicio permite además identificar tanto aquellas operaciones que generan valor como aquellas actividades críticas para la satisfacción del cliente.

#### 4.2.3. Flujo

Se define flujo continuo como la integración de procesos de acuerdo a una secuencia de fabricación de forma que el producto avanza progresivamente de operación en operación en lotes de transferencia unitarios. Por el contrario, en un flujo intermitente o línea de producción por lotes, los procesos están aislados y la conexión entre ellos se lleva a cabo por medio de transportes de material en lotes de transferencia de varias unidades.

Como se ha indicado anteriormente, el principal objetivo de este proyecto es convertir un sistema de producción por lotes en un sistema de producción pieza a pieza, por lo tanto, este concepto será esencial en el presente caso práctico.

#### 4.2.4. Sistema “Pull” o arrastre

Una línea de producción basada en un sistema “pull” responde ante la demanda real del cliente, ya sea éste interno o externo.

De forma general, en la figura siguiente se pueden observar las diferencias entre un sistema tradicional y un sistema de flujo continuo y de arrastre:

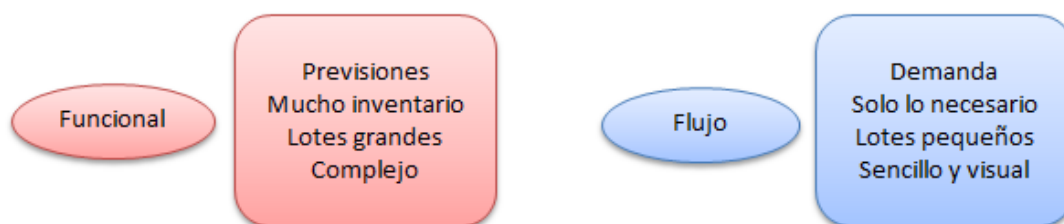


Figura 4.2: Sistema de flujo tradicional y continuo. Fuente: Elaboración propia

El objetivo de un sistema “pull” es crear un sistema en cadena en el que cada estación “tire” de la anterior, y al final de la línea se encuentre el cliente “tirando” de todo el sistema. De esta forma todo el trabajo producido es absorbido a continuación a lo largo de la cadena, reduciendo considerablemente el inventario.

#### **4.2.5. Perfección: Mejora continua**

El concepto de mejora continua se basa en la idea de que siempre se está en un proceso de cambio, de desarrollo y con oportunidades de mejora.

Este proceso es un ciclo interrumpido, a través del cual se identifica un área de mejora, se estudia y se analizan las acciones a tomar, se implementan, se verifican los resultados y se actúa de acuerdo con ellos, ya sea para corregir desviaciones o para proponer nuevas metas más retadoras.

Este concepto de mejora permite la renovación, el desarrollo, el progreso y la posibilidad de responder a las necesidades cambiantes del entorno, para dar un mejor servicio o producto a los clientes.

En resumen, la filosofía Lean busca la mejora de procesos de manufactura y servicios basados en la eliminación de desperdicios y actividades que no agregan valor al producto. Y de esta forma alcanzar efectos inmediatos en la productividad, competitividad y rentabilidad del negocio.



### 4.3. Principios y herramientas de la filosofía Lean

A continuación, como se resume en la figura siguiente, se enumeran los conceptos y principios comentados anteriormente y se identifican las herramientas más destacadas utilizadas en cada uno de ellos.

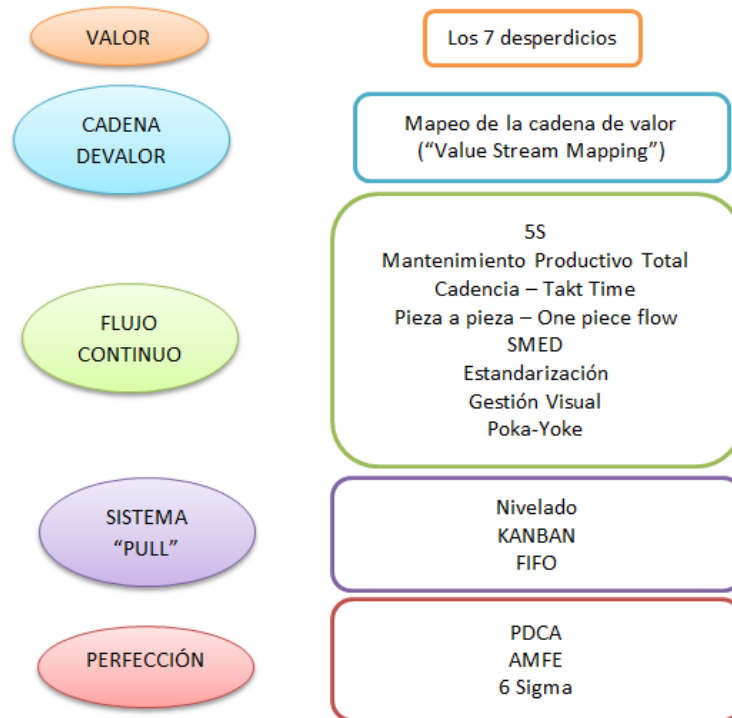


Figura 4.3: Pilares del Lean Manufacturing y sus herramientas. Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1. Los 7 desperdicios

Esta es la principal herramienta para detectar las actividades que añaden valor al producto y las que no lo hacen. El objetivo es reducir, o en el mejor de los casos eliminar, todas aquellas actividades consideradas como desperdicio, es decir, todo aquello que consuma recursos y no añada valor.

Según la filosofía Lean existen 7 formas de desperdicio:

- **Sobreproducción:** fabricación de una cantidad mayor que la requerida por los clientes. Además, este tipo de desperdicio da lugar a uno nuevo: el inventario
- **Tiempos de espera:** pérdida de tiempo, ya sea entre operaciones o durante una operación, debida a errores de programación, material desaparecido, cuellos de botella...
- **Transportes:** movimiento excesivo o innecesario de material entre una operación y otra

- Sobre procesamiento: procesos innecesarios que no añaden valor para el cliente.
- Exceso de inventario: acumulación de productos y material en cualquier punto del proceso productivo.
- Exceso de movimientos: se define así a cualquier movimiento humano o de material que no es necesario para llevar a cabo una actividad o tarea. Este tipo de desperdicio está relacionado con la ergonomía del lugar de trabajo.
- Repetición de trabajo: fabricación de productos defectuosos que requerirán que se repita el trabajo, o en caso contrario, afectarán a la calidad del producto.

Por otro lado, también se pueden considerar como desperdicios:

- Falta de atención al talento del personal.
- Falta de decisión a la hora de tomar medidas.

Para llevar a cabo la actividad de eliminación de desperdicios es necesario observar todo el proceso desde distintos puntos de vista:

- Nivel de planta: lay-out, movimientos entre planta y almacén, stocks, devoluciones de clientes...
- Nivel de línea de trabajo: tiempo de preparación, desequilibrios entre operaciones, averías, desplazamientos de material entre estaciones...
- Nivel de estación: desplazamientos, búsquedas de material y herramientas, tiempos de espera...

Un análisis completo y exhaustivo ayuda a identificar y eliminar todas aquellas actividades que no añaden para el cliente.

#### **4.3.2. Mapeo de la cadena de valor (“Value Stream Mapping”)**

La herramienta más utilizada para definir la cadena de valor de un proceso es el “Value Stream Mapping”, o mapeo de la cadena de valor. Ésta es una herramienta visual compuesta de iconos y símbolos simples que describen principalmente dos tipos de flujos:

- Flujo de información: Aquellas actividades llevadas a cabo desde que el cliente realiza un pedido hasta que la orden de trabajo es generada.
- Flujo de material: Aquellas operaciones que son necesarias para transformar la materia prima en producto para el cliente.

Mediante esta herramienta se puede ver cuánto tiempo supone agregar valor al producto y cuánto tiempo se pierde en actividades que no agregan valor para el cliente. Además, esta

herramienta permite tener una visión más global del proceso productivo, y ayuda a entender mejor el flujo de material y de información.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Diseñar el mapa de la situación actual  
Este debe ser definido con indicadores representativos, tales como tiempo disponible, esperas, tiempo de cambio...
2. Análisis de resultados y búsqueda de mejoras  
Se deben identificar los puntos con mayores oportunidades de mejora y priorizar de acuerdo al impacto que tengan en la reducción de costes y en el aumento y mejora de la calidad, productividad y/o flexibilidad.
3. Diseñar el mapa de la situación ideal  
El objetivo es simplificar y mejorar la cadena de valor.

Algunas de las herramientas utilizadas de forma complementaria al mapeo de la cadena de valor son:

- Tiempo de ciclo o “takt time”
- Kanban o supermercados
- Sistema pieza a pieza

A continuación, se desarrollarán estas otras herramientas.

#### 4.3.3. 5S

Se define así a una metodología cuyo fin último no es más que la organización, el orden y la limpieza en el lugar de trabajo. Es considerada una herramienta básica para la aplicación de los conceptos del Lean Manufacturing.

Las 5S provienen de términos japoneses que definen tareas cotidianas referentes a la limpieza y al orden. A continuación, en la figura 4.4, se resumen cada una de estas herramientas:

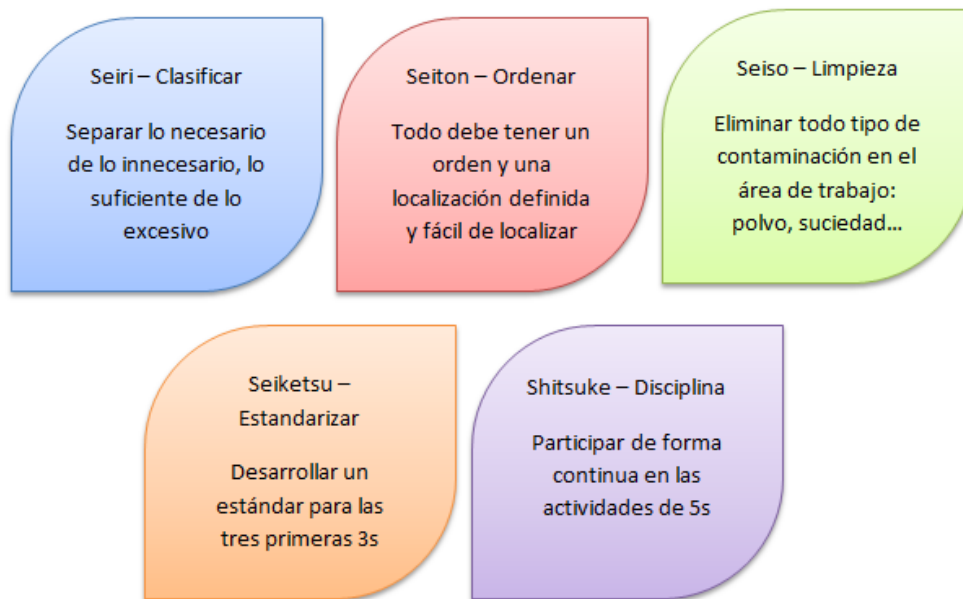


Figura 4.4: Clasificación de las 5S. Fuente: Elaboración propia

Sus principales objetivos son:

- Mostrar, reducir, eliminar y prevenir los desperdicios y residuos de forma que no vuelvan a aparecer en el futuro.
- Mejorar la organización de la zona de trabajo: “un lugar para cada cosa, y cada cosa en su lugar”.
- Mantener un ambiente de trabajo seguro y de alto rendimiento.

- **Seiri – Clasificar:**

El objetivo es ordenar todas las herramientas, utensilios o elementos auxiliares que están en las áreas de trabajo según su frecuencia de uso, creando un área de trabajo limpia de elementos innecesarios para el proceso diario.

Algunas de sus ventajas son:

- Libera espacio en el área de trabajo
- Mejora el control visual
- Mejora las condiciones para aumentar la vida útil de los equipos
- Mantiene el área de trabajo lista para la actividad

- Reduce el tiempo de acceso a materiales, herramientas, etc.
  - Mejora la estandarización
  - Reduce las causas potenciales de accidentes y aumenta la conciencia de conservación de equipos y otros recursos
- Seiton – Ordenar:

Entre los elementos de ordenación más utilizados se pueden destacar: tableros con siluetas para herramientas, estanterías modulares, delimitación y señalización de cada una de las áreas de trabajo, clasificación de sistemas o áreas mediante colores...

Algunos de los posibles beneficios a obtener son:

- Disponer de un lugar determinado para cada tipo de herramienta dependiendo de su frecuencia de uso
  - Identificar y señalar sistemas auxiliares del proceso como tuberías o sistemas de seguridad, alarmas...
  - Incrementar la seguridad a través de la delimitación de áreas, maquinaria, procesos....
  - Disminuir el tiempo de búsqueda de herramientas o utensilios
  - Crear un ambiente de trabajo más confortable
  - Incrementar el control visual y la seguridad
- Seiso – Limpieza:
- El objetivo es asumir la limpieza como un trabajo diario, es decir, como parte del proceso productivo. Además, se intenta transmitir el mensaje de que la limpieza es a la vez una actividad de mantenimiento autónomo o de inspección. Esto quiere decir que la limpieza en una determinada área de trabajo permitirá detectar rápidamente cualquier tipo de fuga, avería, fallo en el proceso, etc.

Algunas de sus ventajas más destacadas son:

- Reduce el riesgo potencial de accidentes
  - Incrementa la vida útil de los equipos
  - Facilita la detección de averías
  - Reduce el deterioro del material y el derroche de energía
  - Aumenta la calidad del producto
  - Incrementa la eficiencia global de la instalación (OEE) (a continuación se desarrollará en detalle este concepto)
- Seiketsu – Estandarizar:
- Esta fase implica elaborar estándares de limpieza y de inspección para realizar acciones de autocontrol permanente.

La estandarización pretende mantener el estado de limpieza alcanzado con las tres primeras S. Y para ello existen diversas herramientas como:

- Procedimientos a seguir por proceso y área.
- Fotografías representativas que muestren el lugar de trabajo en condiciones óptimas.
- Programación de limpieza y mantenimiento
- Mapas representativos de las áreas de almacenaje
- Códigos de colores

Entre los beneficios a obtener destacan:

- Mejorar el ambiente de trabajo
  - Preservar el conocimiento acumulado durante años de trabajo
  - Ayudar a crear mayor conciencia en el equipo
  - Ayudar al personal a asumir mayores responsabilidades en la gestión del puesto de trabajo.
- Shiksuke - Disciplina:  
Ésta se considera la fase final del proceso y pertenece al proceso de mejora continua, es la fase más difícil de alcanzar e implantar. El objetivo es mantener el cumplimiento de los procedimientos y normas anteriormente conseguidos. Esta fase implica, entre otras, controles sorpresa, auditorías periódicas o equipos de control.

Algunas de sus ventajas son:

- Ayuda a reducir los malos hábitos
- Aumenta la sensibilización, el cuidado y el respeto por los recursos de la empresa
- Incrementa la productividad y rentabilidad de la empresa
- Aumenta la satisfacción del cliente a través de la mejora de la calidad del producto.

#### **4.3.4. Mantenimiento Productivo Total**

El Mantenimiento Productivo Total es un sistema de gestión de mantenimiento diseñado para aumentar la disponibilidad de la máquina mediante el mantenimiento preventivo en intervalos fijados. Existen “seis grandes pérdidas” asociadas a la reducción de la eficiencia del sistema productivo y éstas son:

- Fallo del equipo -> pérdida de tiempo
- Puesta a punto y ajustes de la maquinaria -> pérdidas de tiempo
- Esperas y paradas menores durante la operación
- Velocidad de operación reducida

- Defectos en el proceso
- Pérdidas de tiempo debidas a la puesta en marcha de un nuevo proceso

En la figura 4.5, se muestra la clasificación principal del Mantenimiento Productivo Total en sus cinco pilares básicos.

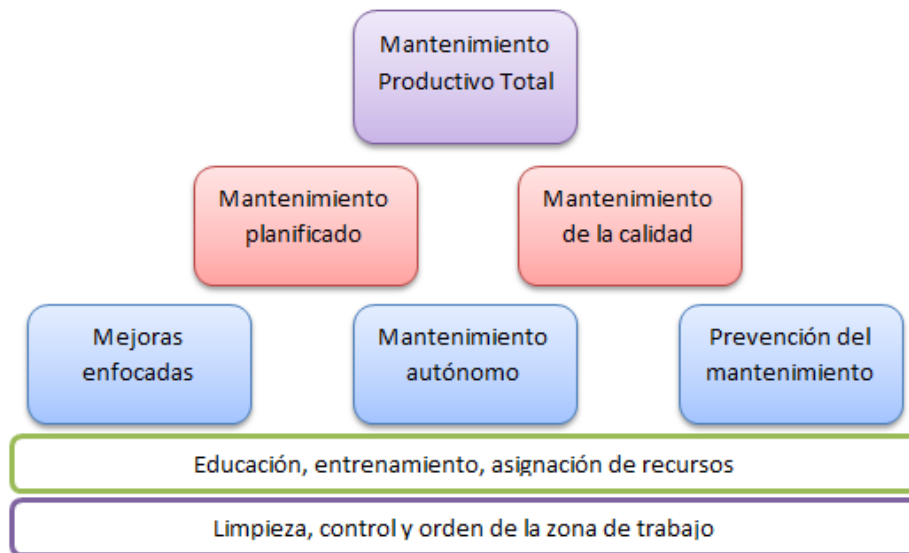


Figura 4.5: Pilares del TPM. Fuente: Elaboración propia

- **Mejoras enfocadas:**  
Actividades cuyo objetivo principal es maximizar la efectividad de equipos, procesos y plantas. Se emplea una metodología específica y centra su atención en la eliminación de cualquiera de las seis pérdidas del sistema.
- **Mantenimiento autónomo:**  
Asociado al conocimiento que el operador tiene para dominar el funcionamiento del equipo, esto incluye todo tipo de mecanismos, prevención y mantenimiento, averías... El objetivo es que el operador entienda la importancia de conservar el equipo en condiciones óptimas y además que asuma como propia la necesidad de realizar inspecciones preventivas y por último que participe en las actividades de análisis de problemas.
- **Prevención del mantenimiento:**  
Son consideradas así las actividades de mejora que se realizan durante la fase de diseño, construcción y puesta a punto de los equipos.
- **Mantenimiento planificado:**  
El principal objetivo es eliminar los problemas del equipo a través de acciones de mejora, prevención y predicción.

- Mantenimiento de la calidad:  
Actividades enfocadas en la mejora de la calidad mediante la reducción de la variabilidad. Este proceso se lleva a cabo mediante el análisis y control de los equipos y componentes que tienen un impacto directo en la calidad del producto.

Las principales ventajas de este sistema de gestión son:

- Reducción de número de averías, reajustes e interrupciones
- Reducción de tiempos de espera y lead-time
- Mayor control y aumento de la vida útil de herramientas y equipos
- Conservación del medio ambiente y ahorro de energía
- Mayor formación y experiencia por parte de los trabajadores

Sin embargo, esta técnica está sometida a varios puntos débiles, entre ellos:

- Sistema basado en la experiencia de los participantes
- Proceso arduo y lento
- El éxito del proceso depende de la capacidad de liderazgo del guía y motivación y predisposición del equipo

Además, al igual que con otras técnicas organizativas de mantenimiento, no puede ni debe basarse todo un plan de mantenimiento en esta única técnica. Sino que es necesario realizar un plan integrado, que abarque varias filosofías, y entre ellas la del Mantenimiento Preventivo Total.

#### **4.3.5. Cadencia (Takt Time)**

Se define cadencia o “takt time” al tiempo que tarda el cliente en consumir una unidad de producto o servicio. En concreto, el “takt time”, o también conocido como ritmo de la demanda, permite definir la cantidad diaria que requiere el cliente en un periodo de tiempo determinado.

La demanda del cliente suele tener un carácter variable, efecto que no es recomendable llevar a las líneas de producción. Es conveniente que las líneas trabajen a un ritmo constante y estable, de forma que se permita dimensionar los recursos y la capacidad de éstas, sin tener que recurrir a ajustes en la mano de obra o inutilización de las instalaciones.

Una vez definido el ritmo de la demanda, es aconsejable definir el ritmo de producción, y ver la relación entre ambos conceptos.

Se define como ritmo de la producción al tiempo que se requiere para generar una unidad de producto o servicio, y se mide mediante el tiempo de ciclo.



En un sistema productivo, estos dos conceptos se aplican de forma paralela, y dependiendo de la relación entre ellos se obtienen distintas conclusiones:

- Tiempo de ciclo inferior al “takt time”: esto implica que el ritmo de producción es mayor al ritmo de consumo del cliente, por lo que se genera inventarios.
- “Takt time” inferior al tiempo de ciclo: el ritmo al que consume el cliente es mayor al ritmo de producción, por lo que las necesidades del cliente no se satisfacen.
- “Takt time” igual al tiempo de producción: el cliente consume al mismo ritmo que las líneas producen.

#### **4.3.6. Pieza a pieza**

Generalmente este tipo de sistema de producción se asocia a grandes empresas del sector automovilístico, las cuales se pueden permitir grandes inversiones en cadenas de transporte. Sin embargo, este tipo de sistema productivo puede aplicarse en otros muchos sectores, sin la necesidad de grandes presupuestos, e igualmente con la posibilidad de obtener grandes ventajas.

La producción pieza a pieza permite “ajustarse a la demanda” utilizando el mínimo de recursos productivos, esto es: materiales, personas, máquinas...

Para llevar a cabo un sistema de producción de tipo pieza a pieza se debe tener en cuenta tres aspectos:

- Producción en flujo
- Flujo de piezas, una a una
- Equilibrado de estaciones en la línea de montaje

El objetivo del modelo es que “el producto se mueva” y, de esta forma, se podrán obtener ventajas tales como:

- Mejora el control del tiempo de fabricación
- Facilita el control de inventario
- Reduce el movimiento innecesario de material
- Ayuda a centrar la atención al producto
- Fuerza a tener el trabajo estandarizado
- Hace visible los problemas
- Fuerza a la resolución de problemas

#### **4.3.7. S.M.E.D**

El SMED (Single Minute Exchange of Die) es una metodología o conjunto de técnicas cuyo objetivo es la reducción drástica del tiempo de las operaciones de cambio de utillajes.

Esta metodología nació como una necesidad de conseguir implantar un sistema de producción Just-In-Time, y fue desarrollado para acortar los tiempos de preparación de las máquinas, intentando hacer lotes de menor tamaño.

Hay que destacar que el tiempo de preparación y cambio no sólo tendrá efecto en las tareas específicas de producción, como tiempos muertos, exceso de inventario de productos en proceso, etc., sino que también tendrá importantes consecuencias en el servicio al cliente.

La necesidad e importancia de este conjunto de técnicas surge cuando el mercado demanda una mayor variedad de productos y en lotes de menor cantidad. Es en este momento cuando para mantener un adecuado nivel de competitividad, o se disminuye los tiempos de cambio o se siguen haciendo lotes grandes y se aumenta los niveles de inventarios de producto terminado, con el consiguiente incremento de los costes.

El proceso de implantación de esta técnica se puede dividir en:

1. Estudio de la operación de cambio
2. Separación de tareas internas y externas
3. Conversión de tareas internas en externas
4. Perfeccionamiento de las tareas internas y externas

#### **4.3.8. Estandarización**

Se define así a la homogeneización de los criterios de producción estableciendo procedimientos de trabajo normalizado. El objetivo es asegurar el equilibrio y la uniformidad de la producción y por lo tanto de las necesidades del cliente.

Para la correcta estandarización de procesos se debe empezar analizando los desperdicios a los cuales se enfrenta cada una de las fases del proceso a través de una herramienta de estudio del trabajo.

Una vez esta situación esté controlada, se pasa al proceso de estandarización. Durante esta fase es indispensable el conocimiento tanto del proceso como de las características propias del sistema.

La estandarización es un proceso continuo, es decir, está sometido a periódicos controles de mejora.

En el próximo capítulo se hablará sobre el “análisis de métodos y tiempos”, y la estandarización será una herramienta fundamental para tener éxito.

#### 4.3.9. Gestión visual

La Gestión Visual es la aplicación de la información de manera clara y sencilla, permitiendo la detección rápida de operaciones fuera del estándar. Se trata de una ayuda a los operadores para realizar las tareas con mayor rapidez y promover la estandarización de los procesos.

En la figura 4.6 están representados los distintos pasos para la implantación de la gestión visual:

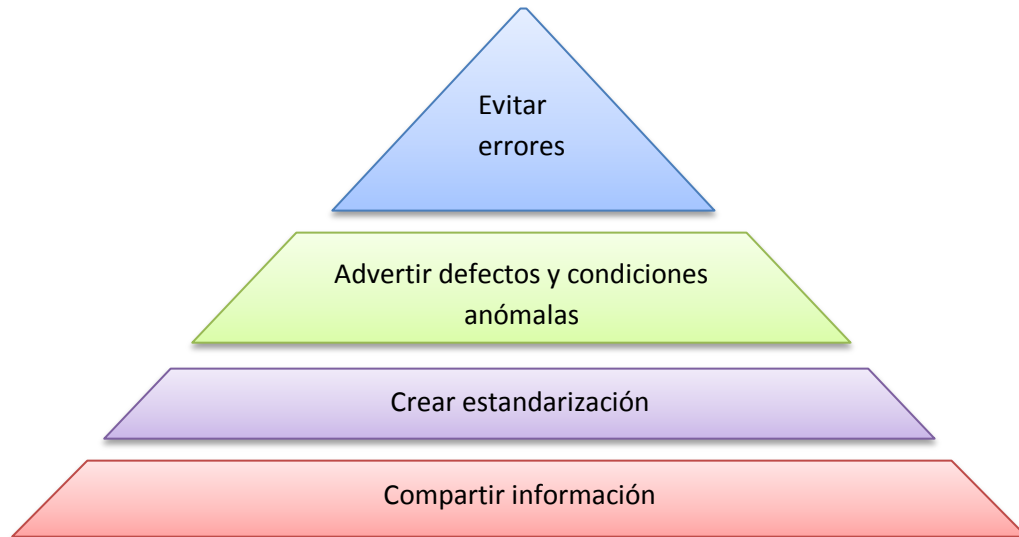


Figura 4.6: Pasos para la implementación de la gestión visual. Fuente: Elaboración propia

Los controles o dispositivos visuales deben cumplir unas características generales entre las que se encuentran las siguientes:

- Simplicidad: fácil de usar
- Apoyo: suministrar asistencia a los trabajadores y facilitar así el trabajo en las tareas
- Familiaridad: contar con la participación de los trabajadores para así hacerles progresar de forma más rápida
- Evidencia: los controles deben ser visibles e intuitivos
- Estímulo: hacer que las acciones sean previsibles y reversibles.
- Satisfacción: crear una sensación de bienestar en el trabajador de acuerdo al progreso
- Disponibilidad: hacer todos los objetos disponibles en cualquier secuencia y en cualquier momento.
- Seguridad: proporcionar al trabajador distintos tipos de ayudas de forma que se puedan evitar errores.
- Versatilidad: proporcionar diferentes técnicas de interacción, de forma que el trabajador pueda elegir la más adecuada para su situación particular.
- Personalización: permitir que los trabajadores adapten la interfaz a sus necesidades.

- Afinidad: permitir que los objetos o procesos representados sean afines a otros de la realidad cotidiana.

La gestión visual sirve para:

- Crear un entorno de trabajo estandarizado.
- Aumentar la posibilidad de que el trabajo se realice de forma correcta a través de imágenes.
- Facilitar la autogestión de los puestos de trabajo.
- Reconocer a simple vista los estándares y detectar de forma rápida las condiciones anómalas.
- Fomentar el trabajo en equipo, descentraliza el proceso de toma de decisiones.
- Facilitar la visualización de las mejoras obtenidas.

Para conseguir una correcta implantación de la gestión visual es muy importante diferenciar las condiciones normales de las anormales y, además, es vital que los trabajadores entiendan el objetivo de estos controles e indicadores y se sientan parte de ellos y de su evolución.

#### **4.3.10. Poka-Yoke**

Se define Poka-Yoke a todo mecanismo que ayuda a prevenir errores antes de que sucedan, o los hace fácilmente visibles de forma que el operario los pueda corregir a tiempo. Esta técnica busca el “cero defectos” mediante la aplicación de procedimientos prácticos.

Los problemas de calidad son el resultado de los elementos de la producción, es decir:

- Mano de obra
- Equipos y maquinaria
- Materiales
- Métodos y procedimientos
- Medición
- Medio ambiente

Y hay que prestar mucha atención a cada uno de ellos para así poder alcanzar los cero defectos.

Es importante destacar la diferencia entre error y defecto:

- Defecto: se define así a la desviación de las especificaciones, y por lo tanto, al incumplimiento de las expectativas del cliente.
- Error: se considera error cualquier desviación de un proceso de fabricación.

Se puede decir que los defectos son los resultados y los errores sus causas.

Algunos de los principales errores humanos son:

- Olvido
- Mal entendimiento
- Inexperiencia
- Falta de estándares

Y sus posibles resultados o defectos:

- Proceso omitido
- Procesos defectuosos
- Piezas equivocadas
- Ajuste defectuoso
- Herramientas o equipos mal preparados

El objetivo del Poka-Yoke es eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible, de manera que si se reduce la aparición de errores, la calidad aumentará y la repetición de trabajo disminuirá.

Este tipo de técnica es útil en procesos caracterizados por:

- Errores frecuentes en cambios de productos
- Altos costes de producción
- Alta variación en el tiempo de producción
- Baja capacidad de producción
- Re-trabajos constantes
- Alta rotación de personal

Y algunos de los posibles beneficios de su implementación son:

- Considerable reducción de operaciones de inspección
- Contribuye al trabajo libre de defectos
- Son simples y de bajo coste
- Incremento de eficiencia
- Estandarización de procesos
- Eliminación de desperdicios
- Mejora de la seguridad en el área de trabajo

#### 4.3.11. Nivelado (“Heijunka”)

Esta herramienta consiste en el equilibrado de la producción a nivel de cantidad y tipo de producto a fabricar en un periodo de tiempo. El objetivo es absorber las desviaciones por las variaciones de la demanda.

Esta técnica permite satisfacer la demanda de los clientes de forma eficiente mientras que evita la producción de lotes, asegurando así un inventario mínimo, bajos costes y menores tiempos de entrega a lo largo de toda la cadena de valor.

El sistema de nivelado no varía la producción según la demanda del cliente, sino que se basa en ella para ajustar las cantidades y el tipo de producto a fabricar para conseguir una producción que evite los despilfarros de tipo:

- Falta de uniformidad (MURA)
- Uso inadecuado de los recursos (MURI)

Algunas de las ventajas obtenidas a partir de esta técnica son:

- Trabajo con lotes reducidos
- Uso de recursos equilibrados
- Alta flexibilidad (gran capacidad de reacción)

#### 4.3.12. Kanban

Kanban es un sistema de información que permite el seguimiento y control de la producción a través de etiquetas o tarjetas de instrucciones.

Las tarjetas Kanban se podrían definir como órdenes de producción, con las cuales se distribuye información acerca del producto a procesar, la cantidad y los recursos a utilizar.

Este sistema tiene dos funciones principales:

- Control de la producción

Se define así a la integración de los diferentes procesos de forma que se llegue a conseguir un sistema de “justo a tiempo” (Just in Time), de forma que el material llegue en el momento y las cantidades requeridas en cada una de las etapas.

- Mejora de procesos

Consiste en la reducción y eliminación de desperdicios y en la optimización de procesos.

Un sistema Kanban será aplicable en aquellos casos donde se siga un patrón de producción, es decir, una línea de producción repetitiva.

Además, antes de implantar un sistema como éste se deben tener en cuenta ciertos factores:

- La producción debe estar nivelada para así tener un flujo de producción estable.
- Este sistema debe combinarse con otro tipo de herramientas de mejora de procesos como pueden ser:
  - Reducción de tiempos de preparación (S.M.E.D)
  - Producción de lotes pequeños (pieza a pieza)
  - Gestión visual
  - Control de mantenimiento
  - Poka-yoke
- Definición y diseño del flujo de material así como de las zonas de proceso, espera, entrada y salida de éste.
- La comunicación entre los departamentos de producción, logística, planificación y ventas es esencial para tener éxito en este tipo de sistemas.
- Los elementos especiales deben ser tratados de forma diferente y paralela al sistema Kanban.
- La mejora continua del sistema es esencial para asegurar el sistema y progresar.
- La formación e integración de los trabajadores es muy importante, ellos conocen el proceso y pueden ayudar a la detección de problemas a la vez que asumirán mayores responsabilidades y compromisos con el desarrollo del sistema.

Un sistema Kanban se puede dividir en cuatro fases de implementación:

1. Entrenamiento y formación de los trabajadores
2. Inicio: se debe comenzar la implementación del sistema Kanban en los puntos críticos para así resaltar los problemas escondidos
3. Extensión: ampliar la aplicación del sistema al resto de fases de producción
4. Control, revisión y mejora del proceso

Además, para conseguir implantar con éxito un sistema así se deben seguir varias normas en cuanto a tiempo, cantidades y cadena de valor. A pesar de lo intuitivo de alguna de ellas, viene bien tenerlas presentes:

1. Productos defectuosos:

Debido a que en este tipo de sistemas de producción el lote de trabajo es mínimo, la probabilidad de evitar la propagación de errores es mayor. Sin embargo, es necesario asegurar que ningún producto defectuoso pasa a la siguiente estación.

## 2. Pedidos de material necesario

La cantidad de material pedida a cada una de las estaciones anteriores será la necesaria para el proceso y éste será entregado en el momento adecuado. Entregar sólo una parte de material o suministrar más de lo necesario implicará pérdidas. Estas pérdidas pueden estar relacionadas tanto con tiempo como con material (exceso de inventario, obsolescencia de productos intermedios, etc.).

Para llevar este principio a cabo, será necesario seguir ciertas normas:

- Una estación no será suministrada con material a no ser que exista una tarjeta Kanban
- La cantidad proporcionada será la indicada en la etiqueta Kanban
- Se definirá una etiqueta Kanban por cada artículo

## 3. Suministro de material entre estaciones

Cada una de las estaciones de trabajo producirá la cantidad exacta que necesite la siguiente estación y siguiendo la misma secuencia de productos. El objetivo es reducir el inventario intermedio a la vez que se evita la propagación de errores que pueden aparecer en la producción por lotes.

## 4. Nivelado de la producción

El objetivo es equilibrar cada una de las estaciones de manera que el flujo de material sea continuo. Si se diera el caso de que una de las estaciones de trabajo requiriera material de forma intermitente y dentro de un gran rango de cantidades, los procesos anteriores requerirán, en ciertos momentos, mano de obra extra y maquinaria extra. Por este motivo el nivelado de la producción es fundamental.

## 5. Kanban, medida ante la especulación

Tras la implementación de este sistema, se termina con la producción basada en la especulación. Ya no se permite fabricar basándose en lo que la siguiente estación de trabajo necesitará, ni existirá producción adelantada. A partir de ahora, únicamente se producirá el producto y la cantidad que se requiera.

## 6. Estandarización

Se debe definir el procedimiento a seguir, de forma que no exista variabilidad ni puntos débiles de donde puedan surgir defectos en el producto.



Un sistema Kanban puede ser aplicado a un proceso de fabricación o de aprovisionamiento. De forma general los sistemas Kanban se pueden definir como:

- Kanban de producción: se utiliza en líneas de ensamble o en líneas de producción donde el tiempo de preparación es reducido.
- Kanban de material: utilizado para la producción o reposición de material.

Una vez analizado el método de implementación y sus características principales, se pueden destacar como beneficios más importantes:

- Reducción del inventario final e intermedio
- Reducción de tiempos muertos
- Flexibilidad de la producción
- Fomento del trabajo en equipo y la responsabilidad en el proceso de producción
- Aumento de la visibilidad del proceso
- Suministro de información rápida y precisa
- Minimización desperdicios
- Detección más fácil de errores, evitando también su propagación

Sin embargo, no hay que olvidar que Kanban es una herramienta más. Para conseguir un buen resultado es necesario combinar dicho sistema con otras herramientas de forma que se consiga una producción de flujo continuo, sin desperdicios y alta eficiencia, permitiendo así que el sistema productivo sea más competitivo y fuerte en el mercado.

#### 4.3.13 FIFO

FIFO son las siglas en inglés “First in, first out” y esto quiere decir que “lo primero que entra es lo primero que sale”.

Esta herramienta de suministro y aprovisionamiento de material lleva a crear una estantería dinámica, de forma que se reduzca la posibilidad de obsolescencia de productos.

El proceso a seguir sería el mostrado en la figura 7:

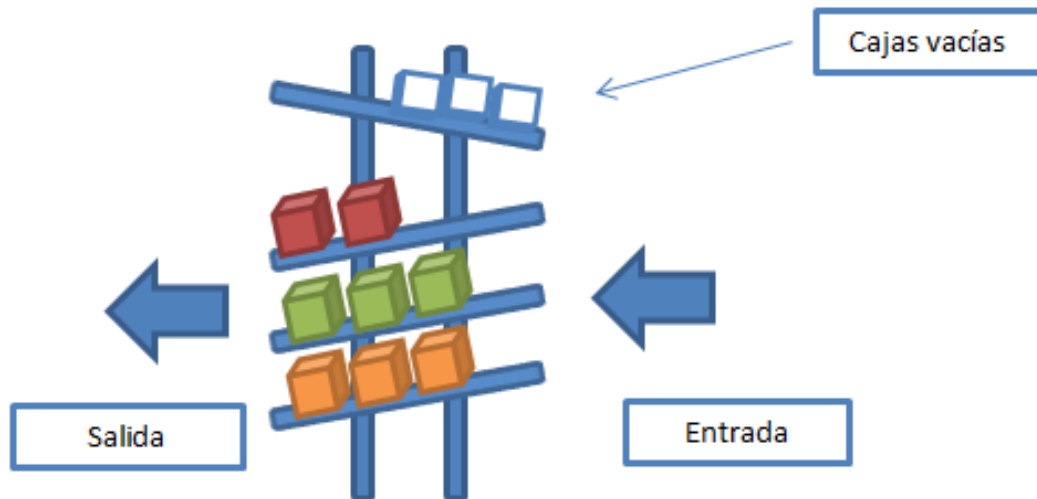


Figura 4.7: Proceso FIFO. Fuente: Elaboración propia

Esta herramienta de suministro de material puede también combinarse con el sistema Kanban, visto anteriormente. De esta forma, cada una de las cajas de material tendrá una etiqueta adjunta, y una vez que se haya consumido todo el material, la etiqueta se dejará en un buzón de aviso y será la señal para preparar un nuevo lote de material para ese componente.

Antes de implantar dicho sistema, será necesario hacer un estudio previo para definir las dimensiones de estas estanterías. Esto dependerá fundamentalmente de la frecuencia de uso del material y del tiempo de reposición.

Es muy importante definir un límite máximo y mínimo, de forma que se asegure en todo momento la disponibilidad del material, pero a la vez que no se tenga excesivo material acumulado.

Entre sus ventajas principales destacan:

- Facilitar la transparencia del inventario
- Ayudar a mantener el orden: un lugar para cosa, y cada cosa en su lugar
- Facilitar la definición de un inventario máximo y mínimo

#### 4.3.14. Círculo de Deming - PDCA

El ciclo PDCA es una herramienta de gestión que se basa en el principio de mejora continua de gestión de la calidad.

El ciclo PDCA se puede dividir en cuatro fases, cada una correspondiente a las siglas que lo componen:

- “Plan” – Planificar
- “Do” – Hacer
- “Check” – Verificar
- “Adjust” – Ajustar

- Planificar:

Esta fase incluye:

- Detección e identificación de problemas y planificación
- Establecimiento de los objetivos que constituyen el objeto de mejora
- Observación y análisis
- Determinación de los métodos y recursos necesarios para alcanzar los objetivos
- Definición de los indicadores que permiten establecer el punto de partida y cuantificar los objetivos.

Hay que tener en cuenta que los progresos sólo pueden ser medidos con respecto a unos objetivos previamente planteados y cuantificados. Además, cuanto más precisos y concretos sean estos objetivos, mayores son las posibilidades de alcanzarlos.

- Hacer:

Puesta en marcha de las tareas planificadas, lo que implica:

- Preparación exhaustiva del proceso a seguir
- Aplicación controlada del plan

- Verificar o comprobar:

En este paso se comparan los resultados reales obtenidos con los objetivos definidos en la planificación.

- Ajustar:

Fase de mejora donde existe la posibilidad de aprovechar y expandir los resultados obtenidos. Esto implica:

- Analizar los datos finales

- Proponer alternativas de mejora
- Estandarizar y normalizar

El ciclo de Deming es un proceso progresivo, y que por lo tanto implica el aprendizaje continuo de la organización, el seguimiento de una filosofía de gestión, y la participación activa de todo el personal de trabajo.

#### **4.3.15 AMFE – Análisis Modal de Fallos y Efectos**

Método cualitativo utilizado en gestión de calidad para la identificación y análisis de potenciales desviaciones de funcionamiento o fallos que puedan aparecer en un producto, un servicio o en un proceso.

Podemos diferenciar entre:

- AMFE de Producto: centrado en el diseño
- AMFE de Proceso: destinado al análisis y búsqueda de defectos que puedan ocasionar el mal funcionamiento ya sea del mismo proceso, del producto o del servicio.

Las características principales de esta herramienta de análisis son:

- **Carácter preventivo:**  
Esto permite actuar y anticiparse ante los posibles problemas
- **Sistematización:**  
Se sigue un método estructurado el cual asegura, prácticamente, que todos los posibles errores han sido considerados.
- **Participación:**  
El éxito de este método se consigue gracias al trabajo en equipo y a la participación de todo el personal, ya que requiere la puesta en común de los conocimientos de todas las áreas a estudiar.

La herramienta AMFE está orientada a lograr el aseguramiento de la calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir posibles fallos, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección:

- **Gravedad:** evalúa la gravedad de que se produzca un determinado fallo para el cliente
- **Ocurrencia:** cuantifica la probabilidad de que ocurra un determinado fallo
- **Detección:** evalúa, para cada causa, la probabilidad de detectar dicho fallo.

Una vez determinado cada uno de estos factores, se calcula el número de prioridad de riesgo, el cual sirve para priorizar las causas sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten los distintos fallos analizados.

Los objetivos perseguidos con la implantación de esta herramienta son:

- Satisfacer al cliente
- Implantar una filosofía basada en la prevención
- Identificar posibles fallos
- Reducir posibles fallos a través de medidas preventivas y correctivas
- Valorar la eficacia de las acciones emprendidas

Esta herramienta busca maximizar la satisfacción del cliente mediante la reducción o eliminación de los problemas potenciales o ya identificados.

#### **4.2.16. 6 Sigma**

Seis Sigma es un enfoque revolucionario de gestión que mide y mejora la Calidad a la vez que consigue satisfacer las necesidades de los clientes.

El método 6 Sigma consiste en la aplicación de un proceso estructurado en cinco fases:

- Definición: identificación de los posibles proyectos a tratar. Una vez identificado el proyecto, se define su misión y se le asigna un orden de prioridad
- Medición: identificación de los requisitos claves del cliente, del producto y del proceso, así como la definición de los indicadores de medida.
- Análisis: Desarrollo y comprobación de hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas adecuadas
- Mejora: predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso
- Control: diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido hasta el momento se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios.

Con la implantación de este sistema se conseguirá, por un lado, mejorar las características del producto o servicio, y por el otro, reducir el número de fallos o errores y disminuir los tiempos de ciclo en los procesos.

## Capítulo 5: Análisis de métodos y tiempos

### 5.1. Introducción

El análisis de métodos y tiempos es una herramienta que se utiliza para conocer, mejorar y medir el trabajo de un proceso.

A lo largo de este proyecto se verá su aplicación práctica pero antes, se ha considerado necesario la creación de un capítulo que defina el marco teórico y defina cada uno de sus elementos.

Para poder llevar a cabo un estudio de estas características es indispensable un buen análisis del método de trabajo y para ello, se pueden diferenciar tres fases de estudio:

- Ingeniería de métodos: orientada hacia la mejora de la forma de interrelacionarse los diferentes componentes de una operación o proceso y los componentes en sí mismos.
- Medición del trabajo: definición de un tiempo adecuado para la ejecución de una determinada operación, de acuerdo con una interrelación equilibrada de sus componentes.
- Gestión de material: mejora del flujo de material.

Para asegurar un buen estudio es necesario tener en cuenta varios factores:

- Es mejor que haya demasiados elementos a que haya muy pocos
- Los elementos deben ser cronometrados de manera secuencial hasta tener el tiempo total de fabricación de la pieza
- Hay que diferenciar los elementos constantes de los variables
- Separar los elementos controlados por máquinas de los controlados por el trabajador
- Los puntos de inicio y fin deben ser claros y fácilmente identificables

### 5.2. Ingeniería de métodos

El primer paso para el estudio de procesos concretos es el análisis de flujo general del producto a través de las instalaciones.

Existen varias técnicas de registro para poner en marcha este análisis, entre ellas destacan:

1. Diagramas de flujo del proceso
2. Diagramas de proceso
3. Diagramas de operaciones

*Diagrama de flujo del proceso:*

Muestra el camino recorrido por un componente desde la recepción hasta su empaquetado final y embarque, pasando por almacenes, producción y preparado final.

Este diagrama revelará problemas tales como:

- Tráfico cruzado
- Regresos o devoluciones
- Largos recorridos en distancia
- Procedimientos

#### *Diagrama de operaciones:*

El diagrama de operaciones recoge cada una de las operaciones necesarias para llevar a cabo el procesado de una pieza.

La clave de esta herramienta reside en cuestionarse la validez y utilidad de cada una de las operaciones. Algunas de las preguntas fundamentales a plantearse son:

- ¿Cuál es la finalidad de la operación?
- ¿Cómo se podría mejorar el proceso?
- ¿Quién podría desarrollar mejor la operación?
- ¿Cuándo podría llevarse a cabo la operación para que el movimiento de material sea mínimo?
- ¿Dónde podría realizarse la operación de forma que reduzcamos el coste?

#### *Diagrama de procesos:*

El diagrama de procesos define todo el proceso por el que pasa cada uno de los componentes, desde su llegada hasta su procesado y salida, incluyendo manipulación, inspección, almacenaje, procesado, retrasos, etc.

El objetivo es eliminar o reducir al mínimo los tiempos de retraso y almacenamiento con el fin de mejorar las entregas al cliente, reduciendo además, el coste de producción.

### **5.3. Medición del trabajo**

Herramienta utilizada para definir los tiempos estándar adecuados para realizar una tarea determinada. Esta técnica debe incluir los suplementos por fatiga y por retrasos personales e inevitables.

El estudio de tiempos es clave para una correcta estandarización de procesos debido a que se ajusta de forma muy precisa al tiempo real que se tarda en realizar un trabajo.

Existen distintas técnicas utilizadas para la medición del trabajo:

- Basadas en la experiencia
  - Registros históricos
  - Registros históricos corregidos
  - Estimaciones directas
- Observación y medición directa
  - Estudio con cronómetro
  - Muestreo del trabajo
  - Tiempos agregados
- Tiempos predeterminados
  - Datos estándar
  - Series MTM (Method Time Measurement)
  - MODAPST (MODular Arrangement of Predetermines Times Standard)

El estudio de tiempo con cronómetro es la técnica más utilizada para establecer los estándares de tiempo en el área de producción, por ser la que tiene una base científica.

Las funciones de los estudios de tiempo se pueden resumir en:

- Descomposición de cada una de las tareas en movimientos básicos y medición de cada uno de ellos.
- Cálculo de tiempos promedios así como ajustes de velocidad y habilidad o tasa de ejecución.
- Definición del factor de concesión para necesidades personales, retrasos inevitables y fatigas.

#### **5.4. Gestión de material**

El objetivo de esta herramienta es la simplificación de la estación de trabajo. Algunos de los puntos clave a tener en cuenta son:

- Debe existir un lugar determinado para cada una de las herramientas así como para el material (5S).
- Las herramientas deben localizarse cerca del lugar de trabajo de acuerdo a su frecuencia de uso (5S).
- Se deben buscar de las condiciones de trabajo óptimas, en la medida que sea posible, para el trabajador, de acuerdo a la iluminación, altura del lugar de trabajo, comodidad...
- Se deben diseñar de herramientas y equipos de forma que faciliten su manipulación por parte de los operarios.



## Capítulo 6: Organización y mejora de la distribución en planta

### 6.1. Introducción

En este capítulo se describen las diferentes posibilidades de distribución en planta junto con sus ventajas e inconvenientes. Como se verá más adelante, una de las mejoras implantadas hace referencia a la distribución de las distintas estaciones de producción existentes en el lugar de trabajo, y es por ello, por lo que se considera de gran relevancia este concepto.

La distribución en planta es el diseño de un sistema de producción eficiente por medio de la correcta ubicación de instalaciones, maquinaria y equipos.

Una distribución ajustada contempla entre sus criterios el bienestar, las condiciones laborales y la salud de los trabajadores, además del beneficio económico.

Sin embargo, en general, la característica o criterio fundamental es la minimización de la distancia a recorrer por el flujo de materiales entre las distintas actividades.

Los principales objetivos de la distribución de planta son:

- Incremento de la producción
- Disminución de retrasos
- Ahorro de espacio
- Reducción de la manipulación de material
- Mayor utilización de la maquinaria, de la mano de obra y de las instalaciones
- Reducción del material en proceso
- Disminución del tiempo de fabricación
- Mayor facilidad de gestión visual
- Disminución del riesgo de fallos de calidad
- Mayor flexibilidad

Y todo ello se puede resumir en cuatro principios básicos definidos para el diseño de la distribución en planta:

- Unidad: integración de cada uno de los elementos y fases implicados de forma que funcionen de acuerdo a unos objetivos comunes.
- Mínima distancia: búsqueda de economía de movimientos, de equipos y de espacio en la medida que sea posible
- Seguridad: garantizar la seguridad, satisfacción y comodidad de los trabajadores, disminuyendo así el índice de accidentes y mejorando el ambiente de trabajo.
- Flexibilidad: búsqueda de distribuciones flexibles, con facilidad de adaptarse a los cambios en circunstancias especiales.

Existen distintos modelos de distribución en planta, dependiendo del tipo de proceso, la flexibilidad de movimiento de material, la variabilidad de productos, etc. De forma general,

podemos clasificarlos en: distribución por posición fija, distribución por proceso o funciones, distribución por producto o en serie y células de fabricación flexible o células de trabajo.

## **6.2. Distribución por posición fija**

Se utiliza principalmente en proyectos de gran envergadura, donde el producto permanece estático mientras tanto los operarios como la maquinaria se trasladan a los puntos de operación.

Entre las ventajas más importantes destacan:

- Mejor utilización de la maquinaria
- Adaptación más fácil a una gran variedad de productos
- Mayor participación del trabajador
- Facilita mantener la continuidad en la producción

Y como desventajas destacan:

- Ocupación de gran espacio
- Complejo para utilizar equipos difíciles de mover

## **6.3. Distribución por proceso o funciones**

Este tipo de distribución se emplea cuando se tiene implantada una producción por lotes. Las operaciones de un mismo proceso, o tipo de proceso, se encuentran agrupadas en una misma área junto con los operarios encargados de realizar dichas tareas, creando distintos talleres o estaciones de trabajo. En este tipo de distribución, el material irá moviéndose a través de las distintas estaciones en función de la secuencia de operaciones necesarias.

Entre las ventajas más importantes se encuentran las siguientes:

- Mayor especialización de operarios
- Flexibilidad ante cambios de producto
- Mayor facilidad de mantener la continuidad de la producción en caso de equipos averiados, falta de material u obreros ausentes.

Y como desventajas se pueden destacar:

- Mayores tiempos de producción debido a los elevados tiempos muertos
- Altos niveles de inventario de trabajo en proceso con aumento del coste de almacenamiento

#### **6.4. Distribución por producto o en serie**

En este tipo de distribución en planta toda la maquinaria y equipos necesarios para la producción de un determinado producto se agrupan en una misma zona, de acuerdo a la secuencia de operaciones a seguir. Este diseño de planta se utiliza en la fabricación de grandes cantidades de productos muy normalizados, y algunos de los beneficios a conseguir son:

- Reduce el movimiento de material
- Disminuye la cantidad de material en proceso
- Facilita el control
- Mejora el flujo de material
- Permite un uso más efectivo de la mano de obra

Sin embargo, algunos de los inconvenientes característicos de este tipo de distribución son:

- Ausencia de flexibilidad en el proceso
- Trabajos muy monótonos
- El resultado del conjunto final depende de cada una de las partes

#### **6.5. Células de fabricación flexible o células de trabajo**

Las células de fabricación flexible son una combinación de las distribuciones por proceso y producto. La primera destaca por su flexibilidad y la segunda por su alta eficiencia. De esta forma, mediante la implantación de células de trabajo se obtendrá una distribución flexible y eficiente.

Este sistema pretende crear unidades productivas capaces de funcionar de forma independiente llamadas células. Éstas son áreas de trabajo donde los operarios realizan una sucesión de operaciones sobre un producto o conjunto de ellos. Las salidas de las células pueden ser productos finales, o subconjuntos que se integrarán en el producto final o en otros componentes.

La distribución interna de las células puede organizarse a su vez, por producto, proceso o una combinación de ambas, sin embargo, en este caso lo más habitual es por producto.

De este tipo de distribución en planta se puede obtener:

- Disminución de inventario
- Menor espacio
- Disminución de costes directos de producción
- Mayor utilización de equipos
- Aumento de la responsabilidad y participación de los empleados, el trabajador está más implicado en el resultado final obtenido

Sin embargo, para poder tener éxito con este tipo de distribución en planta, los productos deben estar clasificados en grupos homogéneos de acuerdo al proceso a seguir y además, las máquinas de cada célula deben ser ordenadas de tal forma que sigan un continuo flujo estandarizado donde todas las partes sigan la misma secuencia que las máquinas.

El diseño de la distribución en planta debe ser planificado de acuerdo a los recursos humanos y tecnológicos, así como a las limitaciones del terreno, a fin de optimizar las operaciones del sistema productivo.

## Capítulo 7: Análisis y estudio del modelo de trabajo

### 7.1. Introducción

En este capítulo comienza el estudio del caso práctico en el cual, como ya se indicó anteriormente, se busca transformar un sistema de producción basado en la fabricación por lotes en otro cuyo sistema de producción sea pieza a pieza.

En este capítulo se describe, por un lado, los rasgos generales del mercado en el que este proyecto está inmerso, y además, se detallan las características singulares que definen el lugar de trabajo a estudiar en este documento.

### 7.2. El mercado y el modelo de producción

El presente proyecto se encuentra inmerso en un mercado internacional altamente competitivo, donde cada cliente necesita satisfacer distintas necesidades específicas. Estos requisitos serán muy variados y dependerán en gran medida del entorno de actuación del producto. En particular, algunas de los principales condicionantes que hacen necesario la especialización de los productos son:

- Diferentes condiciones meteorológicas.
- Trayectos de media/larga o corta distancia.
- Variedad de requerimientos en cuanto al tamaño, espacio y distribución en el lugar destino.

Cada uno de estos factores hace que los clientes definan y personalicen sus propios productos, creando así una necesidad de cambio en el tradicional concepto de producción en masa.

El sistema de fabricación implantado hasta el momento era un sistema basado en la producción por lotes. Y a pesar de la flexibilidad que exige el mercado, el sistema de producción buscaba encontrar el mayor lote posible de un mismo producto, creyendo así que dicho sistema aportaría la mayor flexibilidad, eficiencia y efectividad para satisfacer las necesidades del cliente.

Con el presente proyecto se comprueba que no es así, este concepto de producción no se adapta a los requisitos de los clientes, sino que por el contrario crea retrasos y favorece la acumulación de inventario con las consecuencias negativas que esto conlleva.

El objetivo principal de este proyecto será cambiar el sistema productivo actual por uno “pieza a pieza”. Sin embargo, y debido a la amplia variedad de productos, se comenzará con un proyecto piloto, de forma que se gestione una parte representativa de la producción, para una vez analizados los resultados, poder extender el proyecto al resto de líneas productivas.

### **7.3. Lugar de trabajo**

La producción de sistemas de climatización y aire acondicionado se encuentra dividida en dos centros de trabajo: uno de ellos localizado en las inmediaciones de la Sede Central en el sur de Madrid, y otro localizado en el interior de un centro penitenciario.

El presente proyecto se centra en este último centro de trabajo, caracterizado por un ambiente de trabajo particular, con numerosas restricciones que afectan de forma directa a la toma de decisiones y al plan de acción.

A continuación, se enumeran las características principales que definen este peculiar entorno de trabajo y con las que más adelante se deberá trabajar para conseguir los objetivos del proyecto.

#### **7.3.1. Equipo de trabajo**

El equipo de trabajo formado en el presente centro de producción localizado en el interior de un centro penitenciario está formado por internos, y personal externo.

Por cada trabajador con experiencia hay alrededor de cuatro internos con media, baja o nula experiencia, por lo que la productividad general del centro de producción está altamente condicionada por los conocimientos que posean los internos sobre las actividades de producción que deben realizarse en el centro.

En consecuencia, la selección de los internos que participan en las labores de trabajo suele estar basada en su experiencia y conocimientos previos, ya sean adquiridos durante su vida laboral o a través de cursos de formación ofrecidos por el centro. Sin embargo, no siempre existe esta posibilidad de selección y en muchos casos, es necesaria la colaboración de personal sin cualificación alguna.

Éste es un punto clave a la hora de implantar el presente proyecto, ya que el aprendizaje y la dependencia respecto a los jefes de línea y al resto de empleados son muy importantes.

#### **7.3.2. Rotación**

Se define así a la fluctuación de personal entre una organización y su ambiente, en otras palabras, el intercambio de personas que entran y salen de una organización.

La rotación se puede clasificar en dos tipos:

- Interna: Número de trabajadores que cambian de puesto de trabajo, sin salir de la empresa
- Externa: indicador referente a la entrada y salida de personal de una organización.

En el presente proyecto, a pesar de que existe cierta rotación interna, será la rotación externa el principal problema a tratar.

Algunos de los principales motivos de rotación son:

- Estancia definida y limitada de los internos
- Visitas de abogados y familiares
- Castigos por peleas o penalizaciones

Esta excesiva rotación de personal afecta en gran medida a la productividad del sistema de producción. A continuación, se enumeran algunas de las desventajas que esto conlleva:

- Incertidumbre en el equipo de trabajo: por lo general, cada día los jefes de línea no saben qué internos saldrán a trabajar hasta esa misma mañana.
- Pérdida de formación: los internos con mayor formación son aquellos que están el suficiente tiempo como para ganar experiencia. Al contar con una elevada rotación, la pérdida de estos internos será crucial en el funcionamiento del equipo.
- Falta de integración y coordinación del grupo de trabajo o del área cuando existe una vacante.
- Inestabilidad en la formación: existen periodos donde el equipo de trabajo está muy cualificado y otros donde la mayoría de sus miembros están en proceso de formación.

### **7.3.3. Horario laboral**

Los operarios y jefes de línea cuentan con un horario base de 8 horas (de 7am a 3pm). Sin embargo, esta jornada laboral no es de 8 horas productivas, sino que está condicionada por el horario estipulado en el centro penitenciario además del tiempo perdido en el transporte hasta llegar a éste. A continuación, se detallan cada uno de estos factores:

- El centro penitenciario se encuentra aproximadamente a 50km de la planta oficial de producción. Los trabajadores necesitan aproximadamente 45 minutos por trayecto, por lo que están en el centro de producción sobre las 8 am aproximadamente.
- Horario del centro:
  - o Los internos salen al patio de trabajo a las 8:30h.
  - o Los internos disponen de 30 minutos de descanso a media mañana.
  - o Los internos dejan de trabajar a las 13:30h y vuelven al patio interior a las 13:45h.

Lo definido anteriormente deja una jornada laboral base de 4 horas y media.

Por otro lado, los trabajadores permanecen en el patio de trabajo hasta que todos los internos hayan pasado el control y se encuentren en el patio interior (aprox. hasta las 2pm).

Debido a estas circunstancias de trabajo, todos los operarios se ven obligados a hacer horas extras, siendo el segundo turno imprescindible. De esta forma, y adecuándose a las restricciones del centro en este segundo turno, la jornada laboral diaria máxima es:

- Mañana: 7am a 2pm – para los internos de 8:30 a 13:30, con 30 minutos de descanso
- Tarde: 3:30pm a 6:30pm

Esto afecta directamente al presente proyecto, tanto en el tiempo disponible como en la necesidad de horas extras. A lo largo de este proyecto se analizarán las distintas repercusiones y se presentarán las distintas opciones para resolverlas.

#### **7.3.4. Gestión de herramientas**

La gestión de las herramientas de trabajo es un punto clave en un centro de trabajo de estas características, y por lo tanto existen normas rigurosas que hay que tener en cuenta. Se debe llevar un estricto control de cada una de las herramientas, y para ello, se han definido unas reglas básicas diarias:

- Las herramientas de trabajo, fuera del horario laboral, permanecen en una habitación bajo llave.
- Sólo el operario responsable puede disponer de las herramientas. Éste es quien está al cargo de repartir y recoger las herramientas al principio y al final de cada turno.
- Los operarios deben formar pequeños grupos para entrar a la zona de almacenaje de herramientas, evitando así situaciones de descontrol.
- Existen, al menos, dos recuentos diarios de las herramientas: una vez finalizado el turno de la mañana, y al finalizar la jornada laboral por la tarde.
- Existe un número máximo de herramientas de las cuales el operario puede disponer al mismo tiempo.

Estas características hacen de herramientas como las 5S o la gestión visual, herramientas imprescindibles para mantener la producción en centros de fabricación tan particulares.

#### **7.3.5. Fichas e internos**

Esta medida ayuda a mejorar la gestión de herramientas y consiste en la concesión de diez fichas a cada uno de los operarios.

Cada una de estas fichas simboliza una herramienta, y están identificadas con el número correspondiente al operario.

De esta forma, cada vez que un interno quiera disponer de una herramienta, debe entregar a cambio de ésta una ficha, que es colocada en el lugar correspondiente a la herramienta.



Se debe destacar que se considera herramienta todo aquel utensilio necesario para la producción desde engastadoras, taladros o remachadoras, hasta destornilladores, selladores o barniz.

El producto a tratar se caracteriza por sus numerosos puntos de conexión, en los que dependiendo de su utilización requerirá un determinado componente u otro. Y aunque todos ellos sean similares, requieren la utilización de distintas herramientas como pueden ser distintos tipos de engastadoras, o distintos tipos de destornilladores.

Más adelante, se desarrollarán las soluciones propuestas para esta restricción particular del presente entorno de trabajo.

## Capítulo 8: Aplicación e implantación de un sistema pieza a pieza

### 8.1. Introducción

El objetivo principal del presente proyecto es la implantación de un sistema de producción pieza a pieza a partir de un sistema basado en la producción por lotes.

Para ilustrar de una forma rápida y sencilla los objetivos del proyecto, se comienza por presentar un ejemplo simplificado del caso real que se estudiará más adelante.

El sistema de producción actual está enfocado a una producción por lotes y de forma general pero muy representativa se pueden ver sus resultados en el siguiente ejemplo:

#### *Sistema de producción por lotes*

Un producto se elabora en tres estaciones de trabajo, distribuidas consecutivamente. La primera requiere 12 minutos de trabajo, la segunda 16 minutos, y por último, la tercera, aproximadamente 12 minutos. Además, las piezas fabricadas se envían de una estación a otra en lotes de 6 unidades.

Teniendo en cuenta que sólo existe un turno de 8 horas: al final de la jornada el trabajador de la primera estación fabricaría 40 piezas, el de la segunda estación 30 piezas, y el de la tercera 40 piezas.

Sin embargo, es posible que durante una jornada de trabajo, el operario de la primera estación tenga una buena disposición y procese 46 piezas, lo que supone que puede enviar 7 lotes (42 piezas), de las cuales al menos 12 estarían todavía en el almacén intermedio entre las estaciones 1 y 2, debido a que el segundo operario sólo puede procesar 30 piezas al día. No obstante, debido a la acumulación de piezas en el almacén intermedio, el operario de la estación 2 debe dedicar parte de su tiempo a hacer sitio al exceso de piezas en dicho almacén y a organizarlo. Esto podría conducir a que el segundo operario sólo pueda procesar durante el día de hoy 29 piezas, y por lo tanto sólo puede transferir 4 lotes.

Por otro lado, el operario de la estación 3 tiene capacidad suficiente para producir 40 piezas al día, sin embargo al final del turno sólo ha recibido 24 piezas de la estación 2.

En consecuencia, al final de la jornada de trabajo, sólo se habrían terminado 24 piezas. Tanto en la estación 1 como en la 2 existirían piezas, 4 y 5 respectivamente, cuyo proceso habría concluido pero que no se habrían enviado a la siguiente estación por no haberse alcanzado el tamaño del lote y en el almacén intermedio entre las estaciones 1 y 2 habría 13 piezas.

Si este tipo de situaciones se repitieran, este stock intermedio iría aumentando a medida que pasasen los días.

### *Sistema de producción pieza a pieza*

A continuación se analizará este mismo caso pero con el siguiente cambio en el proceso de producción: no será necesario formar lotes para enviar el producto a la siguiente estación, y además, ningún trabajador podrá pasar una pieza a la siguiente estación hasta que el siguiente operario no la necesite. Y será en ese momento cuando el primero operario podrá continuar trabajando en la siguiente pieza.

Bajo esta nueva variante del proceso de producción, al finalizar el turno de trabajo se tendrá:

El primer trabajador habrá procesado 30 piezas, y habrá esperado 4 min entre pieza y pieza, el segundo habrá terminado de procesar las 30 piezas sin presión (al no tener que dedicarse a organizar el almacén intermedio) y el tercer trabajador habrá procesado las 30 piezas esperando 4 min en cada ciclo.

El resultado final serán 30 piezas producidas (en comparación con las 24 del proceso por lotes) y un stock en tránsito de 3 piezas, una en cada estación, en comparación con las 22 (4 + 5 + 13) del ejemplo de producción por lotes.

Sin embargo, las diferencias entre ambos sistemas van más allá. Si analizamos el comienzo del segundo día, y en especial la primera pieza a producir, se observa que:

### *Sistema de producción por lotes*

En el segundo día de trabajo, la primera pieza que pasa a la primera estación se tardará en procesar 12 minutos y a continuación permanecerá en la estación otros 12 minutos hasta que se procese una segunda pieza, que junto con las 4 ya procesadas el día anterior, completarán un lote. Una vez que dicho lote pase al almacén intermedio entre las estaciones 1 y 2, tendrá que esperar 184 minutos hasta ser procesada (durante los 24 que ha tardado la pieza en llegar al almacén intermedio entre las estaciones 1 y 2, el operario de la estación 2 habrá procesado 1,5 piezas de las 13 que tenía pendientes al comienzo de la jornada, por tanto, le quedarán 11,5 piezas x 16 minutos = 184 minutos). Después el operario de la estación 2 procesará el lote completo, 6 piezas x 16 min = 92 minutos. Será en ese momento cuando el operario de la estación 3 pueda procesar la pieza en cuestión.

Por lo tanto, el tiempo total de procesamiento de una pieza será:

$$12 + 12 + 184 + 96 + 12 = 316 \text{ minutos}$$

### *Sistema de producción pieza a pieza*

En este caso, la pieza será enviada de forma inmediata a la estación 2 después de ser procesada, es decir, a los 12 minutos de haber comenzado la jornada. Allí permanecerá los 16 minutos que dura el segundo proceso y a continuación pasará a la estación 3, donde el proceso finalizará al cabo de 12 minutos.

En total, tenemos que el tiempo de procesamiento será de:

$$12 + 16 + 12 = 40 \text{ minutos}$$

En el segundo sistema se ha conseguido obtener un tiempo de procesamiento siete veces menor que el del sistema actual.

Por otra parte, debe destacarse la eliminación de los almacenajes intermedios. Esto tendrá importantes repercusiones en la detección de problemas y en el control de calidad.

Por ejemplo, si en el segundo día de trabajo se produce un fallo en la maquinaria de la primera estación, que origina defectos en las piezas, y no se descubre hasta que no se procesa la pieza en la segunda estación, cuando se detecte el problema la primera estación ya habrá producido más de 17 piezas defectuosas ( $12 + 12 + 184 = 208$  minutos entre 12 minutos por pieza), que posiblemente serán desechadas en su totalidad.

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que el sistema de producción pieza a pieza facilita la detección de problemas durante el proceso de fabricación, al igual que ayuda a reducir el tiempo de procesamiento.

A continuación, y una vez definidos los objetivos a alcanzar, se continúa con el estudio del caso real.

La evolución de este caso práctico se puede dividir en varias fases:

1. Definición de los objetivos  
En este punto se definen los objetivos a alcanzar, así como los indicadores que permitirán establecer el punto de partida y cuantificar los objetivos.
2. Estudio del proceso  
El objetivo es estudiar el proceso tal y como se lleva a cabo mediante un seguimiento exhaustivo.
3. Análisis de resultados  
En este punto se estudiarán los resultados obtenidos, analizándose cada uno de ellos con los distintos grupos involucrados.
4. Desarrollo e implantación del plan de acción  
Puesta en marcha del proceso y de las mejoras a implantar.
5. Resultados obtenidos y mejora continua  
Seguimiento controlado del plan de acciones y posible implantación de mejoras.

A continuación se muestra el cronograma de actuación:

	MES 1				MES 2				MES 3			
Fases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Definición de objetivos												
Estudio del proceso												
Análisis de resultados												
Implantación del plan de acción												
Mejora continua												

Tabla 8.1: Cronograma del proyecto en empresa

## 8.2. Definición de objetivos

Como ya se comentó anteriormente, el proyecto de mejora de mazos eléctricos a través de la implantación de un sistema pieza a pieza tiene como objetivos:

1. Optimización del montaje
2. Formación del personal en un sistema de producción pieza a pieza
3. Sincronización en el suministro de materiales
4. Visualización del estado de la línea con KPIs específicos (Indicadores del Sistema de Producción de Knorr-Bremse)

### 8.2.1. Definición de productos

Como ya se comentó en el capítulo 6, la variedad de diseños de sistemas de climatización supera los 200 modelos, lo que dificulta la estandarización de procesos. Sin embargo, existen ciertos modelos que siguen una demanda estable y será con ellos con los que se inicie el proyecto piloto.

En concreto, se trabajará con los modelos RGV N1 y N2, ya que son dos modelos similares y para los que se puede llegar a definir un mismo procedimiento de producción.

### 8.2.2. Análisis de la demanda de la producción - Nivelación

Con este paso se pretende analizar la demanda y definir la variedad y cantidad de productos a fabricar.

Como ya se vio en capítulos anteriores, la nivelación de la producción es esencial a la hora de implantar un sistema pieza a pieza, y su principal objetivo es hacer coincidir de forma eficiente la producción con la demanda del cliente, de forma que se reduzcan los lotes de producción y por tanto, se minimice el inventario, los costes, la mano de obra y el tiempo total de procesado.

Este proyecto trabaja en la mejora de la línea de producción de dos productos con unas características y una demanda similares, por lo que a la hora de analizar la demanda se considera un único producto.

Para ello, se toma la demanda de cada producto para los próximos 6 meses. A lo largo de este periodo existen momentos de escasa o elevada demanda, con un mínimo de cero pedidos por semana y un máximo de nueve. Es por ello que calculando el promedio, se decide nivelar la producción con 6 equipos por semana.

### 8.2.3 Eficiencia global de la instalación (OEE – Overall Equipment Efficiency)

Se define así a un indicador utilizado para medir el aprovechamiento de la capacidad productiva de un proceso de fabricación. La eficiencia global de equipos compara la producción efectiva con la capacidad de producción teórica.

En definitiva, este ratio indica qué porcentaje de piezas de producto con buena calidad han salido de la línea, funcionando la máquina a la velocidad nominal y sin averiarse.

Para llevar a cabo este análisis se deben tener en cuenta los componentes que generan este concepto de eficiencia. En la figura 8.1 se representan éstos con sus correspondientes fuentes de ineficiencias o pérdidas:



Figura 8.1: Componentes del OEE. Fuente: Elaboración propia

Las principales ventajas que ofrece este ratio son:

- Facilita la obtención de resultados a corto plazo y a medio-largo plazo
- Fomenta la participación del personal a través de formación y entrenamiento
- Permite la detección rápida de fuentes de ineficiencia

En el presente caso práctico este parámetro vendrá marcado por estudios previos hechos por el departamento de ingeniería, por lo que se considerará un 90% como la eficiencia global de la instalación.

#### 8.2.4 Capacidad del proceso – Takt time

Como se vio en el capítulo 3, el “takt time” se define como tiempo de cadencia, es decir, el tiempo que tarda el cliente en consumir una unidad de producto. El objetivo es igualar este ritmo de demanda con el ritmo de producción y para ello se considera: tiempo disponible y producción objetivo.

- Tiempo disponible:

En el capítulo anterior se comentaron las limitaciones existentes presentes en el proyecto debido a los horarios del centro. Para este análisis, se considera una jornada laboral completa, con turno de mañana y tarde. En total, serían 4,5 horas en el turno de mañana y otras 3 horas en el turno de tarde, esto hace un total de 7,5 horas al día, que multiplicado por 5 días laborales, hacen que el tiempo de producción disponible sea 37,5 horas a la semana.

- Producción prevista a obtener: 6 mazos eléctricos por semana

En el apartado anterior de nivelado, se explica cómo se ha calculado el promedio de la demanda semanal del cliente. Y es esta cantidad la que se utiliza como objetivo de producción en este proyecto.

Por lo tanto, se trata de diseñar una línea de producción cuya capacidad de producción sean 6 mazos eléctricos a la semana.

Una vez conocidos estos dos valores, el “takt time” se puede definir como el cociente entre el tiempo disponible y la demanda, y tiene un valor igual a 6,25 horas ( $37,5/6=6,25$ ). Esto quiere decir que para satisfacer la demanda del cliente, se debe producir una unidad de producto cada 6,25 horas.

Como ya se comentó anteriormente, en aquellos casos donde el tiempo de ciclo es inferior al “takt time” se generan tiempos de espera o puestos sin trabajo. Por el contrario, si el tiempo de ciclo es superior se necesitan horas extras y turnos adicionales para poder conseguir que la producción satisfaga al cliente.

En este caso, esta última opción se traduciría en el traspaso de la producción a otra planta, ya que como se mostró en el capítulo anterior, no es posible hacer horas extras en el presente centro debido a:

- Controles de seguridad del personal: esto dificulta la creación de un segundo turno que pueda sustituir al equipo habitual destinado al centro.

- Distancia entre centros de producción: es necesario alrededor de 45 minutos por trayecto para llegar al centro de trabajo, lo que reduce la flexibilidad de la producción.
- Falta de personal cualificado: existe un reducido grupo de trabajadores que están habituados a desenvolverse en estas condiciones de trabajo.
- Horario del centro: Éste tiene un horario fijo e inamovible que impide a la empresa tener flexibilidad ante la variabilidad de la demanda del cliente.

### **8.3. Estudio del proceso**

#### **8.3.1. Mapeo de pérdidas (Waste mapping)**

En este paso se analiza el actual sistema de producción a través de un seguimiento exhaustivo de todas las actividades y procesos que se den en la línea.

Inicialmente, la línea de producción está definida por tres estaciones de trabajo, formada cada una de ellas por un operario, localizadas en distintos puntos de la nave y aparentemente responsables de procesos independientes.

Como ya se ha comentado anteriormente, este proyecto busca la mejorar de la productividad a través de la reducción o eliminación de actividades que no añaden valor como puede ser el excesivo transporte de material, o a través de la implementación de un sistema de flujo continuo. Para ello, es necesario conocer en detalle las actividades diarias de cada operario, ya que ahí reside la fuente tanto de los problemas como de las posibles soluciones.

Es por ello que el análisis comienza estudiando y llevando el seguimiento de uno de los modelos objeto de estudio desde que el material entra en la nave hasta que sale como producto terminado de la línea de producción.

Para llevar a cabo este estudio se sigue de cerca el trabajo de cada operario durante la jornada laboral. Fueron necesarios dos días por operario para poder obtener datos precisos y fiables de cada actividad realizada en el proceso productivo.

Hay que destacar la dificultad de este tipo de estudios en entornos de trabajo tan singulares como el presente, ya que existen:

- Numerosos controles de seguridad tanto a internos como al personal de trabajo.
- Falta de confianza por parte de los usuarios sobre los objetivos del proyecto.
- Elevada rotación de los operarios.

En el anexo 1 se detalla el seguimiento completo del proceso productivo con el análisis individual por actividad. A continuación se van a analizar estos datos pero de forma conjunta para dar al lector una perspectiva más global de las mejoras a obtener.



Como ya se comentó anteriormente, la línea de producción está dividida en tres estaciones, y cada de ellas se puede definir como:

- Estación 1: “Line feeder”  
Común para todas las líneas de producción, esta estación es responsable de la preparación de la caja eléctrica, del corte de cable, silicona y malla requeridos y el abastecimiento y montaje de otros pequeños subconjuntos básicos del equipo.
- Estación 2: Zona de previas  
Estación dedicada principalmente a la preparación de conectores.
- Estación 3: Montaje final en tablero  
Su función principal es el cableado general de todos los componentes sobre el tablero. En esta estación también se hace la prueba eléctrica y se termina el kit de envío, empezado en la segunda estación.

En la tabla 8.2 se agrupan las principales actividades de cada estación de trabajo, obteniendo el tiempo de producción y el porcentaje de ocupación respecto al tiempo de producción total por unidad de producto.

	Operaciones:	[min]	[h]	
<b>1</b>	Corte de tubo, silicona y malla	1972,56	0,55	3%
	Prep. Caja eléctrica, tapa y soporte de tubos	4520,4	1,26	8%
<b>2</b>	Prep. Carro herramientas	1854,96	0,52	3%
	Preparación conectores	919,08	0,26	2%
	Conector CM2	5070,12	1,41	9%
	Conector CM3	8749,68	2,43	15%
	Conector CM4	9559,44	2,66	17%
	Prep. Kit de envío	2166,96	0,60	4%
<b>3</b>	Cableado general	18747,42	5,21	33%
	Prueba de mazo	2632,2	0,73	5%
	Kit de envío	536,04	0,15	1%

Tabla 8.2: División del tiempo de trabajo por operación y estación

El resultado obtenido se representa en el gráfico 8.1:

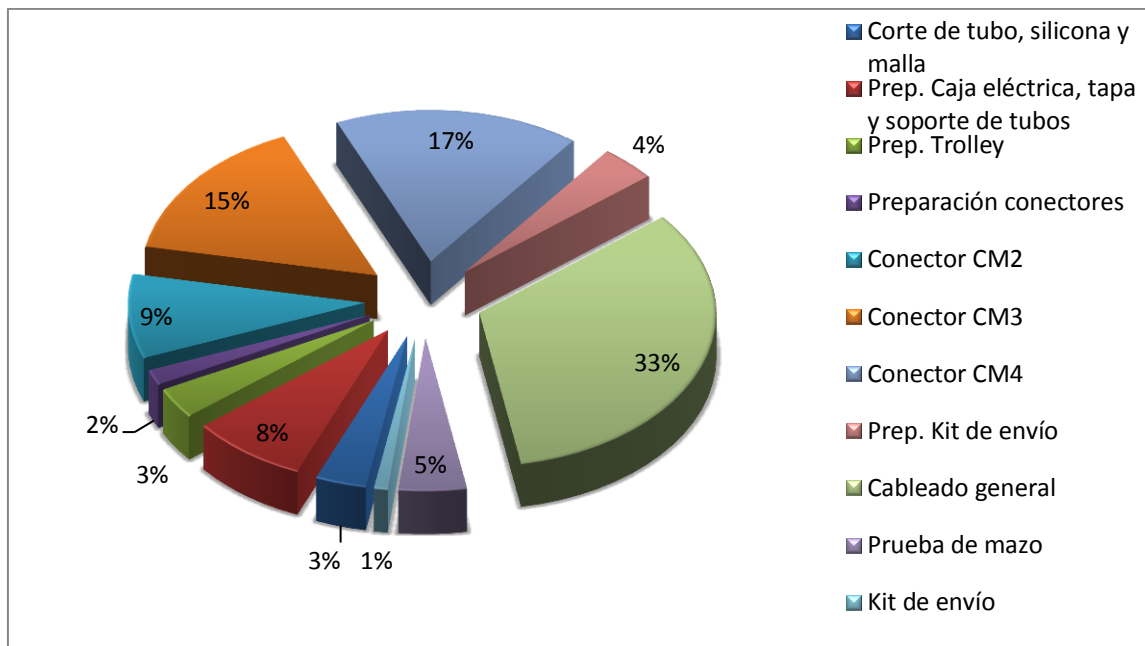


Gráfico 8.1: Representación del tiempo de producción de las operaciones del proceso

El tiempo global de producción por estación se muestra en la tabla 8.3:

<b>1. Line feeder:</b>	<b>11%</b>	<b>2,32</b>	<b>horas</b>
<b>2. Previas:</b>	<b>50%</b>	<b>7,35</b>	<b>horas</b>
<b>3. Montaje final en tablero:</b>	<b>39%</b>	<b>6,09</b>	<b>horas</b>

Tabla 8.3: Tiempo de trabajo para cada equipo por estación

Estos valores reflejan la existencia de 3 estaciones de trabajo poco equilibradas, y es necesario recordar que, como se comentó anteriormente, para la implementación de un sistema de producción pieza a pieza, o de flujo continuo, es necesario el diseño de estaciones equilibradas. Por lo que éste va a ser un punto de estudio en este proyecto.

A continuación, se clasifican cada una de las actividades según el tiempo de trabajo (véase la tabla 8.4):

- Tiempo de operación: tiempo consumido por los recursos para llevar a cabo una actividad.
- Tiempo de transporte: tiempo necesario para mover una cantidad de producto que ya ha sido sometida a una operación a otra nueva.
- Tiempo de espera o retrasos: periodo de producción nula

	[min]	[h]	
<b>Tiempo total</b>	56728,86	15,76	
<b>Tiempo de operación</b>	52307,7	14,53	92%
<b>Tiempo de transporte</b>	4421,16	1,23	8%
<b>Tiempo de retrasos</b>	0	0	0%

Tabla 8.4: División del tiempo de trabajo por unidad de producto

Estos resultados reflejan que el tiempo productivo del proceso equivale a sólo un 92% del total. Por lo tanto aquí surge otra oportunidad de mejora. Para ver este resultado de forma más visual, véase el gráfico 8.2.

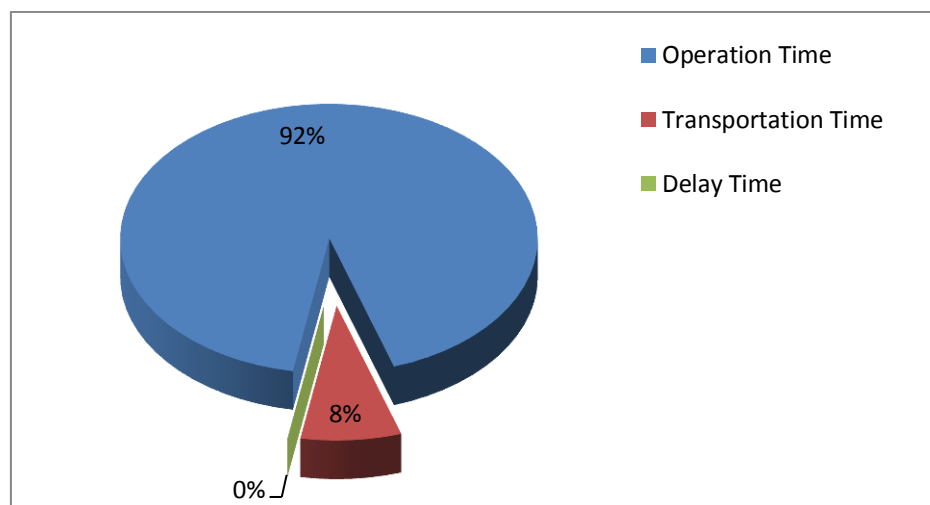


Gráfico 8.2: Representación del tiempo de trabajo

Este primer análisis genera dos oportunidades de mejora en las que centrarse: equilibrado de las estaciones de trabajo y reducción del tiempo de transporte.

### 8.3.2. Actividades de valor añadido

El siguiente paso del análisis es clasificar cada una de las actividades según la taxonomía siguiente:

- Valor añadido:  
Se define así a toda aquella actividad que tiene que ver con el desarrollo del producto, ya sea en términos de producción, logística, comercialización, etc.
- No valor añadido pero esencial:  
Actividades que no aportan valor directamente al producto, pero necesarias para la empresa. Éste es el caso de actividades relacionadas con recursos humanos, desarrollo tecnológico, contabilidad, administración, asesoría legal, mantenimiento, etc.

- No valor añadido:  
Actividades que no añaden valor al producto de forma directa o indirecta y que a la vez consumen recursos, por lo tanto, actividades que deberían ser eliminadas.

La clasificación para cada una de las actividades llevadas a cabo en el proceso productivo se encuentra en el anexo 2 y el resultado obtenido se detalla a continuación en el gráfico 8.3.

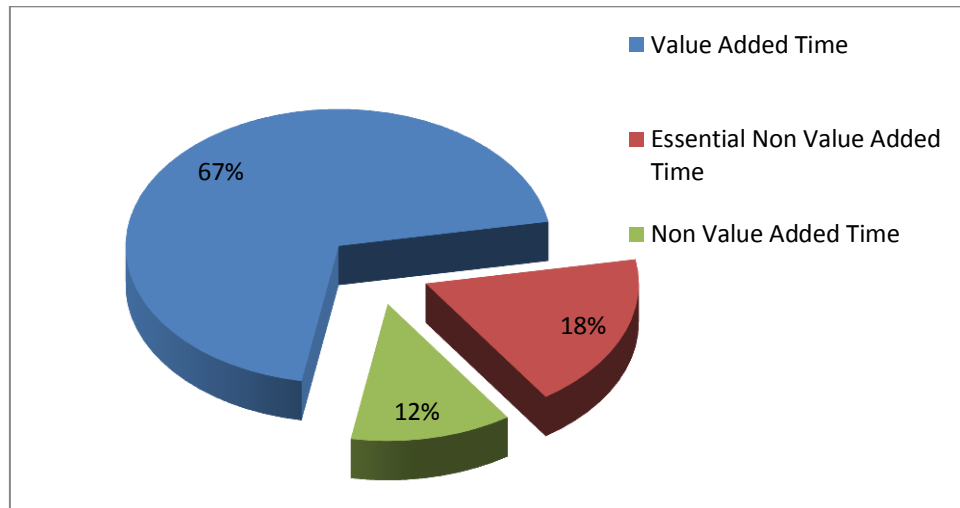


Gráfico 8.3: Clasificación del tiempo de trabajo

Estos datos reflejan la necesidad de reforma del actual proceso productivo, sólo un 67% del tiempo de producción añade valor al producto. En los siguientes apartados se analizarán en detalle las causas de estos resultados y se buscarán soluciones para solventarlos.

#### 8.4. Análisis de los resultados

Una vez definidos los resultados obtenidos, hay que buscar las razones que provocan:

- Bajos tiempos de operación
- Falta de equilibrado
- Elevado tiempo de valor no añadido

Llegados a este punto, el objetivo es analizar una por una las actividades llevadas a cabo e intentar reducir todas aquellas definidas como movimientos, y todas aquellas actividades que no añadan valor al producto, ya que se tratan de desperdicios.

Para ello serán necesarias numerosas reuniones con todos los departamentos implicados: logística, producción e ingeniería. Entre todos se definen y desarrollan medidas de mejora del proceso productivo.

Entre los puntos con mayores posibilidades de mejora destacan:

- Estudio y análisis de la distribución en planta
- Definición del sistema de suministro y la devolución rápida de herramientas: Paneles de herramientas preparados y análisis de herramientas necesarias
- Mejora de la organización del Kanban interno
- Resolver con el proveedor problemas de calidad en los taladros del soporte del transformador, hasta ahora generando repeticiones del trabajo.
- Creación de plantillas para taladros: hasta ahora no había suficiente información en el manual de producción y generaba pérdidas de productividad.
- Eliminación de las actividades repetidas: hasta el momento existen actividades que se repiten en dos estaciones distintas. Por el diseño del montaje y de acuerdo al manual de instrucciones, el último operador necesitaba deshacer lo hecho previamente en la estación anterior para poder seguir el proceso y luego volver a montarlo.
- Carro de herramientas.
- Útil de montaje de conectores (poka-yoke)
- Localización de contenedores de basura en cada una de las estaciones: reducción de movimientos.
- Corregir informe de detalles (procedimiento de fabricación)

A través de este análisis y evaluación de los puntos más críticos de mejora, se pone en marcha un plan de acción. En el anexo 3, se define el proceso final a obtener una vez las medidas tomadas quedan implantadas.

A continuación, se van a describir las principales medidas tomadas en este proyecto y sus posibles efectos en la línea de producción.

#### **8.4.1. Equilibrado de líneas**

Como ya se vio previamente, la línea de producción inicial está formada por tres estaciones, la primera de ellas no se considera parte de una única línea de montaje, se trata de una zona común de abastecimiento y montaje de pequeños subconjuntos básicos denominada “Line feeder”. Por otro lado, se encuentran las estaciones 2 y 3, específicas para cada modelo y divididas en “Previas” destinada al montaje de subconjuntos como son los conectores, y “Montaje Final en Tablero” que consiste en realizar la conexión de todo el sistema eléctrico en tableros definidos como ejemplo base para cada modelo.

Debido al peculiar entorno de trabajo, las estaciones están organizadas de forma que los internos puedan ocupar una u otra posición de acuerdo a su experiencia y habilidades. Así, se definen áreas de trabajo donde se requiere personal más cualificado o cuya estancia en el centro sea mayor para poder retener así el máximo tiempo posible el conocimiento asimilado, y por otro lado, áreas de trabajo menos especializadas que faciliten la rotación y el aprendizaje por parte de los nuevos internos. Por estos motivos, se va a considerar esta distribución del

trabajo como la opción más favorable, y a continuación, una vez analizados los datos se valorará si es aceptable o no esta opción.

Sin embargo, a pesar de que sigamos con la distribución de planta inicial, es necesario remodelar y equilibrar las estaciones. Para ello, durante el análisis del mapeo de pérdidas, y con la colaboración de producción y el departamento de Ingeniería, se van equilibrando las tareas de trabajo realizadas por cada estación con el objetivo de igualar al máximo el tiempo de producción en las estaciones 2 y 3, específicas de la línea, y dejando el resto de actividades auxiliares a la estación 1.

Una vez terminado el análisis, es posible definir una propuesta para el futuro procedimiento de trabajo. En el anexo 3 se detalla el resultado final a seguir, y en las tablas 8.5 y 8.6 se definen los valores generales a obtener una vez el proyecto esté implantado.

	[min]	[h]
<b>Tiempo total</b>	49040,66	13,62

Tabla 8.5: Tiempo final total de producción

	<b>Operaciones:</b>	<b>[min]</b>	<b>[h]</b>	
<b>1</b>	Corte de tubo, silicona y malla	1968,44	0,55	4%
	Prep. Caja eléctrica, tapa y soporte de tubos	3742,5	1,04	8%
	Prep. Carro de herramientas	3244	0,90	7%
<b>2</b>	Preparación conectores	140	0,04	0%
	Conector CM2	3367	0,94	7%
	Conector CM3	7319,34	2,03	15%
	Conector CM4	8331,64	2,31	17%
	Prep. Kit de envío	1022	0,28	2%
<b>3</b>	Cableado general	17477,74	4,85	36%
	Prueba de mazo	1405	0,39	3%
	Kit de envío	1023	0,28	2%

Tabla 8.6: División del tiempo de trabajo por operación

De forma más visual, los resultados anteriores se pueden ver en el gráfico 8.4.

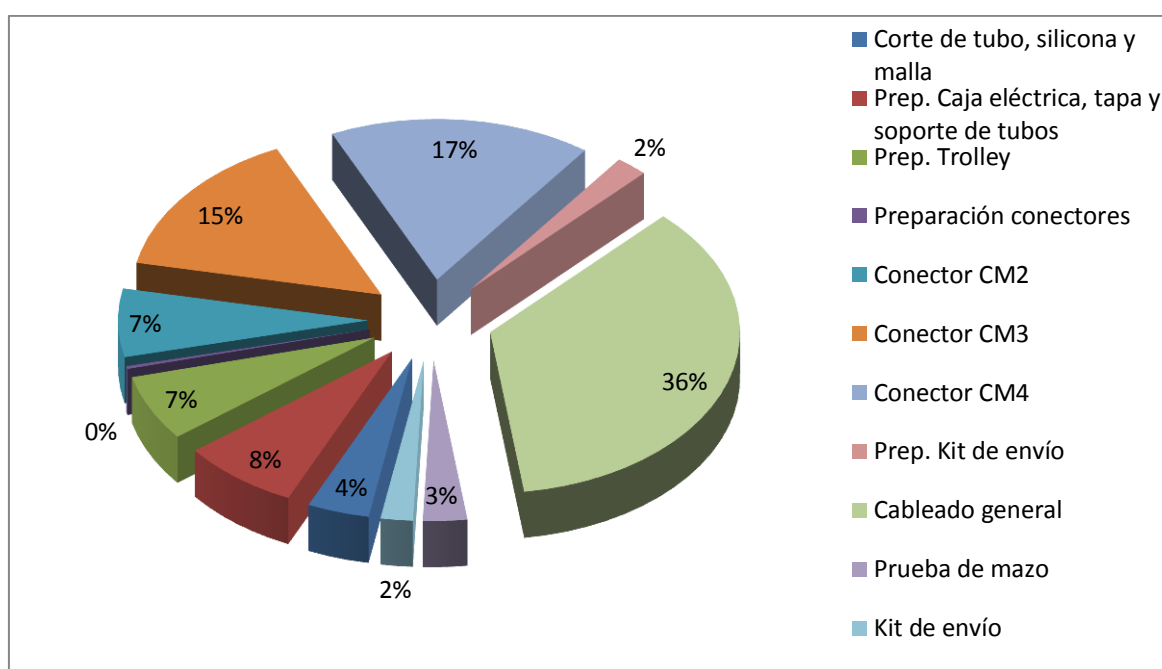


Gráfico 8.4: Tiempo por operación

En la tabla 8.7 se puede ver el tiempo de ocupación de cada estación de trabajo después del equilibrado.

<b>1. Line feeder:</b>	<b>18%</b>	<b>2,49</b>	<b>horas</b>
<b>2. Previas:</b>	<b>41%</b>	<b>5,61</b>	<b>horas</b>
<b>3. Montaje final en tablero:</b>	<b>41%</b>	<b>5,53</b>	<b>horas</b>

Tabla 8.7: Tiempo de proceso por estación

Una vez las estaciones están equilibradas, es necesario comprobar si esta distribución del trabajo va a permitir a la línea satisfacer de forma adecuada la demanda del cliente.

En la tabla 8.8 se calculan los puestos de trabajo necesarios para satisfacer una demanda de 6 mazos a la semana teniendo en cuenta el nuevo tiempo de producción.

N1 + N2:	
Cantidad N1+N2 por semana	6
Tiempo standard por mazo (h)	13,62
OEE OK4	90%
Tiempo actual por mazo (h)	15,1
Horas trabajo diario por operario (h)	7,5
Horas por semana por operario (h)	37,5
<b>Takt Time: 6,25 horas un mazo</b>	
<b>Nº Puestos: 2,4</b>	

Tabla 8.8: Valores representativos de la línea de producción

De acuerdo con el resultado obtenido, la presente línea de producción necesita 2,4 puestos de trabajo, lo que se adecúa a nuestra propuesta inicial, manteniendo así, las 3 estaciones iniciales: “line feeder”, previas y montaje final. Además, esta distribución del trabajo demuestra que la idea de seguir utilizando la estación del “line feeder” como un área de trabajo común para varias líneas de producción es viable.

Por otro lado, las dos estaciones específicas de la línea tienen un porcentaje de ocupación muy similar, y el margen de trabajo es próximo a 1 como se muestra en la tabla 8.9.

<b>Previas (41,2%):</b>	<b>0,412 x 2,4 = 0,997</b>
<b>Montaje final (40,6%):</b>	<b>0,406 x 2,4 = 0,983</b>

Tabla 8.9: Margen real de los puestos de trabajo

#### 8.4.2. Sistema de producción por lotes

En este apartado se analiza el impacto que tiene un sistema de producción por lotes en la cantidad de trabajo en curso.

Hasta el momento de la puesta en marcha del presente proyecto, se seguía un sistema de producción por lotes que venía determinado por el lote de material suministrado por el departamento de logística. Este lote por lo general venía definido por dos, tres o cuatro unidades, pudiendo llegar en ciertas ocasiones a lotes de ocho unidades. En el anexo 4 se muestra un caso real de suministro de material a la línea de producción, donde la llegada de material determina el lote de fabricación.

Por otro lado, para llevar a cabo un análisis de la cantidad de trabajo en curso (WIP, “Work In Progress”), se consideran los datos calculados inicialmente en el apartado 8.3.1, resultado del estudio del mapeo de pérdidas de la situación inicial. En este análisis se supone:



- Tiempo de proceso por cada estación: En la tabla 8.10 se representa el tiempo de dedicación que necesita cada unidad de producto en cada una de las estaciones.

1. Line feeder:	11%	2,3	horas
2. Previas:	50%	7,4	horas
3. Montaje final en tablero:	39%	6,1	horas

Tabla 8.10: Tiempo de fabricación por estación de trabajo

- Horas disponibles de trabajo, véase tabla 8.11.

Horas trabajo diario por operario (h)	7,5
Horas por semana, por operario (h)	37,5

Tabla 8.11: Tiempo disponible

- La cantidad de unidades producidas por estación al día: Teniendo en cuenta el tiempo disponible por día (7,5 horas) y, además, el tiempo de fabricación necesario por una unidad de producto en cada estación (véase la tabla 8.10), se supone una productividad promedio por estación, véase la tabla 8.12.

1. Line feeder:	$7,5 / 2,3 = 3,23$	<b>3</b>	unidades/día
2. Previas:	$7,5 / 7,4 = 1,02$	<b>1</b>	unidades/día
3. Tablero:	$7,5 / 6,1 = 1,23$	<b>1</b>	unidades/día

Tabla 8.12: Productividad por estación

- Las unidades de las dos primeras estaciones no pasarán a la siguiente estación hasta que el lote completo esté terminado.

Como ya se comentó anteriormente, en el anexo 4 se expone un caso real de suministro de material para el cual se hizo un seguimiento del material de entrada y salida durante 6 semanas. En este caso, las fechas de salida se ven condicionadas a factores externos como días festivos, faltas de personal, etc. El objetivo de este análisis es analizar la cantidad de trabajo en curso en condiciones ideales para así, más tarde, poder comparar estos datos con los obtenidos tras la implementación del proyecto. Este análisis teórico con los datos reales de entrada de material se detalla en el anexo 5. Y el resultado promedio final se muestra en la tabla 8.13.

1. Line feeder:	0,7 uds
Espera 1-2	0,4 uds
2. Previas:	2,1 uds
Espera 2-3	0,2 uds
3. Tablero:	1,4 uds

Tabla 8.13: Promedio de unidades al día en cada estación

De la tabla anterior se puede deducir que las estaciones 2 y 3 están saturadas, ya que ambas tienen material en espera.

Como ya se vio en capítulos anteriores, el inventario intermedio es uno de los desperdicios más perjudiciales, ya que suele dificultar la coordinación, aumentar el deterioro de material, impedir la visualización de la línea y dificultar la detección de errores.

Pero las consecuencias de este inventario intermedio no sólo se ven reflejadas en la cantidad de material acumulado en la línea, sino que también puede tener importantes consecuencias en el ámbito económico.

Para ver su efecto en este caso real, es necesario disponer del coste total de la mano de obra para un equipo. Gracias a la colaboración del departamento de logística se sabe que los dos equipos analizados en este proyecto (RGV-N1 y RGV-N2) tienen un coste aproximado de 182,82 euros.

Una vez conocido este coste, se puede dividir su valor según el tiempo de ocupación por estación. Este resultado se muestra en la tabla 8.14.

1. Line feeder:	11%	$182,82 * 0,11 = 20,11 \text{ €}$
2. Previas:	50%	$182,82 * 0,50 = 91,41 \text{ €}$
3. Montaje final en tablero:	39%	$182,82 * 0,39 = 71,30 \text{ €}$

Tabla 8.14: Valor monetario por estación

Por lo tanto, los equipos en proceso tendrán un valor distinto dependiendo de la estación en la que se encuentren (véase tabla 8.15):

1. Line feeder:	20,11 €
2. Previas:	111,52 €
3. Tablero:	182,82 €

Tabla 8.15: Valor monetario acumulado

En el Anexo 6 se muestra el análisis realizado anteriormente acerca de la cantidad de material en proceso, pero esta vez de acuerdo al valor monetario. Teniendo en cuenta este análisis, el promedio de material en curso de acuerdo a su valor monetario es de 534,57 euros (véase tabla 8.16).

1. Line feeder:	0,7 uds	$0,7 \times 20,11 = 14,08 \text{ €}$
Espera 1-2	0,4 uds	$0,4 \times 20,11 = 8,04 \text{ €}$
2. Previas:	2,1 uds	$2,1 \times 111,52 = 234,20 \text{ €}$
Espera 2-3	0,2 uds	$0,2 \times 111,52 = 22,30 \text{ €}$
3. Tablero:	1,4 uds	$1,4 \times 182,82 = 255,95 \text{ €}$
<b>TOTAL</b>		<b>534,57 €</b>

Tabla 8.16: Valor monetario promedio del material en curso

Más adelante se compararán estos resultados con los obtenidos tras la implementación del proyecto.

## **8.5. Desarrollo e implantación del plan de acción**

Hasta el momento, se ha definido y analizado la situación inicial del proyecto, y se han identificado las posibles oportunidades de mejora. Para ello ha sido necesaria la colaboración tanto del departamento de producción, logística e ingeniería.

A partir de este punto, empiezan la implementación del plan de acción por parte del autor de este proyecto. Para ello, se ha contado con la colaboración del personal de trabajo del centro de producción y el apoyo de los departamentos de ingeniería y logística, en aquellos puntos que lo hayan requerido.

### **8.5.1. Distribución de planta – Layout**

Durante el análisis de los resultados obtenidos mediante el mapeo de pérdidas, se observa que uno de los problemas principales es el número de desplazamientos de los operarios y el movimiento de material y herramientas, por lo que la búsqueda de soluciones para reducir estos tiempos y distancias es un punto clave para la mejora del presente proceso. Para ello, se comienza con el estudio de la distribución por planta.

Como ya se comentó anteriormente en el capítulo 3, el presente centro de producción está formado por 5 naves de fabricación divididas en la producción de los distintos subconjuntos que forman un equipo de climatización. El presente proyecto se centra en el subconjunto de mazos eléctricos, el cual, a su vez, pertenece a la división de equipos eléctricos situados en la nave 4. En esta nave, existen diversas zonas de trabajo, y éstas se clasifican en:

- Line feeder paneles
- Line feeder mazos
- Previas paneles
- Previas mazos y sondas
- Paneles eléctricos
- Mazos eléctricos
- Corte y desforre de cables

El presente proyecto sólo se centra en mazos eléctricos, sin embargo, para hablar sobre la distribución de las estaciones de trabajo de los mazos eléctricos es necesario tener en cuenta la distribución global de la nave.

Al comienzo del proyecto, la distribución inicial de la nave estaba basada en funciones, distribución típica en los sistemas de producción por lotes (véase el capítulo 5). Y éstas formaban 4 zonas de trabajo:

1. Almacén y corte de cable
2. Área de aprovisionamiento y “line feeder”
3. Zona de previas
4. Paneles eléctricos y montaje final de mazos

Cada una de estas zonas se dividía a su vez en dos áreas, una para paneles y otra para mazos.

De acuerdo a la distribución inicial, las distancias entre las estaciones correspondientes a la producción de mazos eléctricos generaban exceso de movimiento. La distancia promedio entre estaciones es:

- Distancia entre la estación 1 (“Line feeder”) y 2 (previas mazos): 15 metros
- Distancia entre la estación 2 y 3 (tableros de mazos): 68 metros

Además, hay que recordar que debido al entorno particular en el que se centra este proyecto, existen ciertas restricciones de acuerdo al uso de herramientas que conllevan numerosos movimientos e intercambios de herramientas entre la zona de almacenaje de éstas y las estaciones de trabajo. De acuerdo a la distribución inicial, la zona de almacenamiento de herramientas se encuentra próxima a la estación 3 (montaje final en tablero) y por lo tanto, a 68 metros aproximadamente de las estaciones 1 y 2.

Estas distancias tienen como resultado el exceso de transporte de material, el movimiento de operarios y además, dificulta la visión general del proceso.

De acuerdo con el objetivo de crear un sistema de producción pieza a pieza, se define un proyecto piloto formado por dos áreas de trabajo:

1. Estación 1 - “Line feeder”: debido a las características de esta estación de trabajo, común para todas las líneas de mazos eléctricos, no es posible cambiar su localización.
2. Estaciones 2 y 3 – Previas y montaje final: se crea una zona común, formado así una célula de trabajo.

De acuerdo a esta nueva distribución, la distancia entre estaciones de trabajo se reduce drásticamente, siendo prácticamente cero la distancia entre las estaciones 2 y 3, y estando ahora ambas estaciones próximas a la zona de almacenaje de herramientas.

Por otro lado, la estación 1 mantiene su localización inicial, pero como se verá a continuación, el efecto de esta distancia se ve reducido a través de un Kanban de carros de herramientas.

El la figura 8.2 se representa la célula de trabajo formada por las estaciones 2 y 3.

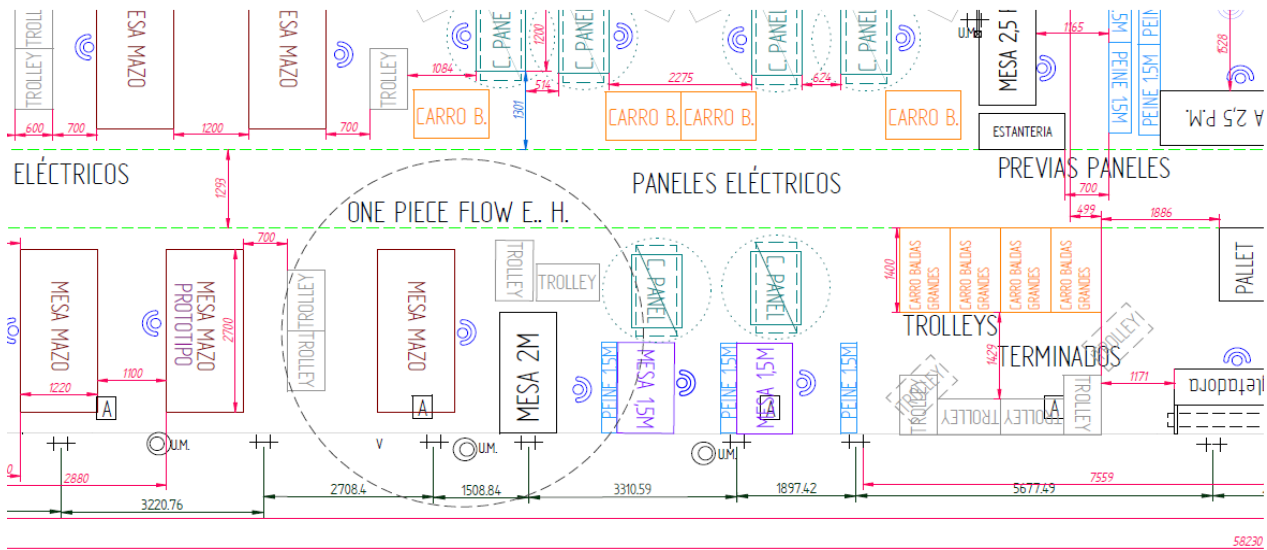


Figura 8.2: Distribución de planta de la línea de mazos. Fuente: Knorr-Bremse

### 8.5.2. Kanban

Como ya se vio en el capítulo 3, el Kanban es una herramienta del sistema “pull”, o de arrastre, que informa a las líneas de producción que el cliente ha consumido o comprado un producto, y por lo tanto, la necesidad de reposición o producción de éste.

Existen distintos modos de aplicación de esta herramienta:

- Caja llena/caja vacía: la caja vacía es la orden que indica la necesidad de reposición o producción.
- Máximo / mínimo: gestión visual que indica el punto de reposición y la cantidad a suministrar.
- Tarjetas: Éstas indican el tipo y cantidad a producir.
- Electrónico: sigue el mismo patrón que el máximo y mínimo pero esta vez gestionado informáticamente.

Durante este proyecto, aparecen dos oportunidades de mejora a través de la utilización de esta herramienta en la gestión de material de aprovisionamiento.

En este apartado, se analiza la gestión de material genérico como pueden ser tuercas, arandelas, racores, prensas, etc. Y en apartados posteriores, se verá la gestión de material específico por modelo.

Como punto de partida en la gestión de material genérico, se tiene un sistema Kanban ya implantado pero sin funcionar de manera correcta. Esto se debe al diseño de éste y a la falta de formación de los trabajadores.

Durante este proyecto, se busca diseñar un tipo de Kanban que se adecúe a las necesidades de los trabajadores y que permita optimizar sus resultados.

En este caso, se decide diseñar un Kanban de doble caja, que utilice como señal de reaprovisionamiento una caja vacía. Cada una de ellas dispone del código de material, descripción y número de componentes. Una vez la caja esté vacía, se coloca en una estantería utilizada como herramienta visual: si existe alguna caja en esta estantería, hay necesidad de reaprovisionamiento. Véase la figura 8.3.



Figura 8.3: Ejemplo Kanban. Fuente: Elaboración propia

Hay que destacar que el tiempo de aprovisionamiento de una caja de material está entre uno o dos días, y el número de componentes por caja es muy superior al consumo diario de las líneas de producción, por lo tanto, es suficiente con un sistema de doble caja.

Por otro lado, las estanterías diseñadas para disponer el material Kanban, serán diseñadas de forma que facilite al operador el manejo del material. Es decir, el material seguirá una secuencia creciente por métrica y tipo de material, con tarjetas identificativas fáciles de visualizar y reconocer.

El objetivo de esta herramienta es reducir los tiempos de búsqueda, mejorar la gestión visual, y reducir el tiempo de aprovisionamiento. Para ello, es esencial la colaboración, formación y participación de los trabajadores y es en este punto, donde se centra una de las medidas tomadas en el plan de acción.

### 8.5.3. Paneles de herramientas

Una vez llegados a este punto, se tiene definida la distribución en planta que ayuda a reducir los movimientos de material y los desplazamientos, sin embargo, esto es insuficiente, siguen existiendo numerosos movimientos debido a la búsqueda de herramientas.

Como ya se vio anteriormente, el entorno de trabajo particular en el que se desarrolla este proyecto está condicionado por varios factores que deben tenerse en cuenta antes de tomar cualquier medida de mejora:

1. Las herramientas deben permanecer dentro de la oficina tanto a la hora de la comida como al finalizar la jornada laboral.
2. Las herramientas están todas organizadas, numeradas y clasificadas dentro de un armario situado en la oficina. Existe un responsable de material que reparte las herramientas a los operarios y se asegura en todo momento de que ninguna posición esté vacía: debe estar ocupada por la herramienta, o en caso contrario, por la ficha del operario responsable de la herramienta en ese momento. A primera hora, mediodía y al finalizar el día, el armario debe estar completamente colocado, con todas las herramientas situadas en sus respectivas posiciones.
3. Cada operario puede tener bajo su responsabilidad un máximo de 10 herramientas, por las que entrega una ficha con su número correspondiente a cambio de cada una de ellas.
4. Las herramientas se tienen que devolver al operario responsable del material de trabajo.
5. Ningún operario puede entrar sin permiso en la oficina, excepto el operario responsable de las herramientas. Si se quiere cambiar de herramienta, el operario tiene que dirigirse al responsable para devolverle la herramienta, éste tiene que cambiar la ficha de posición y entregar al operario la nueva herramienta solicitada.
6. Existe un cupo máximo de operarios que pueden permanecer a la vez en la oficina. Por lo tanto, en el momento de la entrega y devolución de las herramientas, los operarios tienen que esperar su turno para que el operario responsable pueda atenderlos.

Además, hay que destacar que a primera hora, a mediodía y al finalizar el día los operarios hacen cola para recibir o entregar sus herramientas. Estas esperas normalmente son de varios minutos, lo que reduce apreciablemente el tiempo productivo de fabricación.

Por otro lado, una vez que llega el turno del operario, éste pide las herramientas que cree que usará y que además estén disponibles. Esto implica que es habitual que un operario vuelva a cambiar herramientas o a buscar aquellas que olvidó o que no estaban disponibles en su momento.

Para hacer frente a un entorno de trabajo tan peculiar, se decide crear dos pares de paneles de herramientas: dos de ellos exclusivos para el primer puesto de trabajo, “line feeder”, y otros dos comunes para los puestos 2 y 3, “previas” y “montaje final”. El motivo de tener 4 tableros, duplicados dos a dos, es que uno de cada tipo permanece fijo dentro de la oficina (centro de almacenaje de herramientas). El objetivo de estos dos tableros es el de identificar las herramientas necesarias en cada área de trabajo.

Por otro lado, los otros dos tableros vacíos están situados en cada una de las zonas de trabajo: área 1 (estación 1) y área 2 (estaciones 2 y 3).

Los operarios de esta línea piloto serán los primeros en entrar en la oficina, coger todas las herramientas dispuestas en el tablón correspondiente y desplazarse hacia la zona de trabajo.

Los operarios de las estaciones de previas y montaje final se repartirán las herramientas, intercambiando éstas por sus fichas identificativas. A pesar de lo cual, ambos operarios serán responsables de todas las herramientas. La línea estará formada en todo momento por los mismos operarios, es decir, nadie tiene que acercarse a esa zona de trabajo, por lo tanto no debería surgir ningún problema relacionado con la pérdida de herramientas.

Una vez los operarios se encuentren en sus respectivas áreas de trabajo, deben colocar las herramientas en el tablero dispuesto para su uso durante la jornada laboral.

En la figura 8.4, se muestra el tablero común para las estaciones 2 y 3.

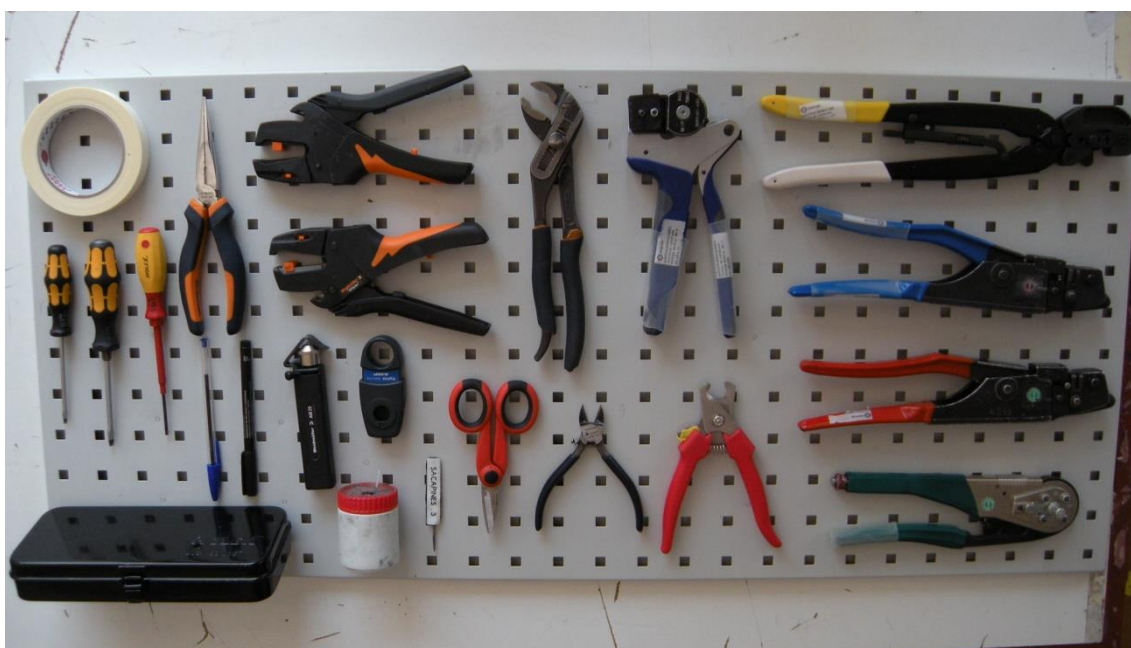


Figura 8.4: Tablero de herramientas de las estaciones 2 y 3. Fuente: Knorr-Bremse

Una vez termine el turno de trabajo, los operarios deben recoger todas las herramientas dispuestas en cada uno de los tableros situados en las zonas de trabajo y entregar éstas al operario responsable de la gestión de herramientas. A continuación, este operario coloca las



herramientas en los tableros situados dentro de la oficina, listas para su uso en el siguiente turno o la siguiente jornada laboral.

Para llevar a cabo esta mejora, ha sido esencial la puesta en práctica de la metodología de las 5S. Las condiciones particulares del entorno de trabajo, hacen que la clasificación, el orden, la limpieza, la estandarización y la disciplina sean herramientas necesarias para poder trabajar en condiciones de seguridad.

#### **8.5.4. Carros de componentes**

En esta parte del proyecto se analiza el aprovisionamiento de material específico por modelo a cada línea de trabajo.

Tradicionalmente este material se gestiona mediante un sistema MRP y se tiene definido como tiempo de aprovisionamiento, o “lead time”, un día. Sin embargo, debido a los controles de seguridad del centro y a la distancia de éste con respecto al almacén general, este “lead time” puede variar entre 1 o 2 días.

Como se vio anteriormente la presente línea de fabricación se ha definido de forma que existen 3 puestos de trabajo. Los dos últimos puestos están equilibrados, sin embargo, para el primero, común para el resto de líneas, el tiempo dedicado a la línea de mazos eléctricos es la mitad que las otras dos estaciones. Por ello, se decide crear un Kanban para los dos últimos puestos de trabajo.

Para calcular dicho Kanban se debe tener en cuenta:

- La producción estándar de mazos del presente proyecto es de 6 equipos ( $N_1 + N_2$ ), pudiendo variar la demanda de cada uno de los modelos.
- El “takt time”, calculado anteriormente (véase el apartado 8.2.4), demuestra que es necesario producir una unidad de producto cada 6,25 horas para satisfacer la demanda del cliente.
- El aprovisionamiento de la materia prima específica para cada producto tiene un “lead time” de 1 o 2 días.

Con estos datos, se puede deducir que la producción diaria es de 1,2 mazos, por lo tanto, la cantidad de Kanban mínimo es de 2. Además, hay que recordar que aunque los dos modelos objetos de estudio son similares tanto en producción como de acuerdo a sus cantidades de demanda, son modelos independientes, por lo que es necesario diseñar un Kanban para cada tipo de modelo.

Por otro lado, para satisfacer el suministro de material de este Kanban, creamos otro Kanban para la materia prima de otros dos mazos por modelo. Este material está localizado en el almacén de la nave, y con él vamos a reducir la posibilidad de deterioro y mejorar la visibilidad y el control del almacén.

Llegados a este punto, contamos con un Kanban de 4 carros de componentes para los mazos N1 y N2. Y además, un Kanban de otras dos unidades para cada modelo de acuerdo a la materia prima necesaria para producir. Sin embargo, como ya se comentó anteriormente, las condiciones singulares del centro de trabajo pueden afectar al suministro de material para este segundo Kanban, ya que contamos con estrictos controles de seguridad y movimientos de material entre los distintos centros de producción situados a 50 km de distancia. Es por ello, que se comienza creando un Kanban para carros de componentes de 3 unidades para cada modelo. De esta forma, se permite afianzar el sistema Kanban y permite mejorar la gestión del sistema de aprovisionamiento por parte del departamento de logística.

El motivo principal para poner una unidad extra en el Kanban de carros de componentes es debido a que la estación 1 está compartida por las distintas líneas de producción. Por lo tanto, el aumentar el Kanban intermedio en una unidad nos permite más flexibilidad que si aumentamos el Kanban del almacén, y respecto al coste de mano de obra, no supone un aumento excesivo.

Una vez implantado el proyecto, y a través de herramientas de mejora continua, este Kanban intermedio puede verse reducido a sólo dos unidades por modelo.

La gestión del Kanban intermedio de carros de componentes está formado por dos áreas próximas a la estación 1: una de ellas destinada a los carros terminados, listos para pasar a la siguiente estación de producción, y otra, con los carros vacíos, listos para ser reaprovisionados.

El departamento de logística es el que define la secuencia a seguir en cuanto a modelos de producto y cantidad. De acuerdo a esto, la estación 2 es la encargada de desplazarse a la zona de carros terminados y coger el modelo correspondiente. Este operario se desplaza de nuevo a su zona de trabajo y comienza el proceso productivo en esta estación. Una vez terminado, éste desplaza el carro a la estación 3. Cuando este último operario termine su trabajo desplaza el carro vacío a la zona delimitada para este tipo de carros. Ésta es la señal del sistema Kanban que informa al operario de la estación 1 que necesita reaprovisionar un nuevo carro y el tipo de modelo de éste.

En la figura 8.5 se representa el diseño de la zona de carros terminados y vacíos. Esta zona está localizada próxima a la zona de trabajo de la estación 1, “line feeder”, para facilitar la gestión visual del Kanban.



Figura 8.5: Distribución “line feeder” y Kanban de carros de componentes. Fuente: Elaboración propia

En este tipo de Kanban no es necesario trabajar con tarjetas como tal, ya que el carro de herramientas vacío es considerado como señal de producción. Como se ve a continuación, éste dispone de los materiales y las cantidades necesarias para cada uno de ellos.

Estos carros de herramientas están divididos en dos partes:

- Parte delantera: destinada a todos los componentes utilizados en el montaje del mazo como son: terminales, manguitos, tornillos, racores, arandelas...
- Parte trasera: destinada al cableado.

A su vez la parte delantera se puede diferenciar por:

- Zona superior: zona de previas. Ésta a su vez se clasifica en gavetas según el tipo de conector a producir y de la localización de éstos.
- Zona inferior: zona de cableado final. Definida según los distintos puntos del tablero donde se vaya a trabajar.

Cada una de las gavetas está identificada por dos etiquetas:

- Lista de componentes: situada en la parte delantera de la gaveta. Ésta describe cada uno de los componentes que contiene, así como la cantidad, el código y la descripción de cada uno de ellos, como representa la figura 8.6:

Terminales X1				KPS
	Cant.	Referencia	Descripción	Tipo
680D13024	16	641H10001	TERMINAL ROJO M4 (51154-2)	A
	5	641H10003	TERMINAL ROJO M6 (51136-2)	A
M. RGV2N-N1	2	641H10009	TERMINAL PUNTA PLANA ROJO (51225-2)	A
	6	641H10043	TERMINAL ROJO M4 (251154 R)	A

Figura 8.6: Etiqueta de lista de componentes. Fuente: Knorr-Bremse

- Fotografía: es una fotografía con el aspecto real que debe tener la gaveta con la cantidad y código sobre cada componente. El objetivo es ayudar a los operarios a reconocer los componentes y reducir así cualquier posibilidad de error (véase la figura 8.7).

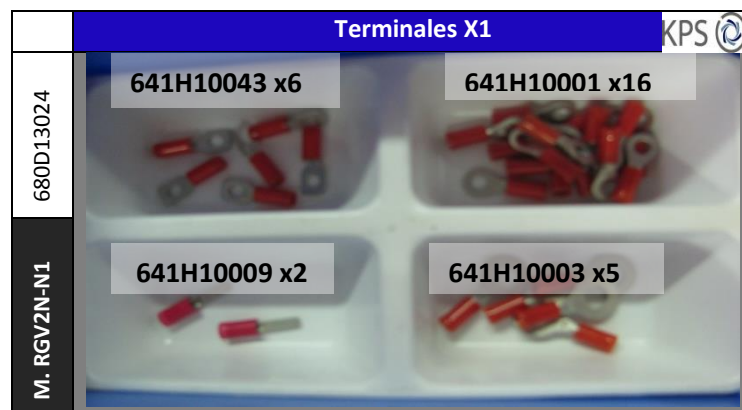


Figura 8.7: Fotografía de la gaveta con el código y cantidad de cada componente. Fuente: Knorr-Bremse

En la figura 8.8, se muestra el resultado final del carro de componentes.



Figura 8.8: Parte delantera de carro de herramientas. Fuente: Knorr-Bremse

Por otro lado, la zona trasera se caracteriza por estar, inicialmente, formada por cables aislados agrupados por distintos puntos de trabajo o subconjuntos. Una vez finalizado el trabajo en la estación 2, previas, los puntos correspondientes a los conectores pasan de ser agrupaciones de cables aislados a subconjuntos listos para el paso final.

El aspecto del diseño de esta cara del carro se muestra en la figura 8.9:



Figura 8.9: Parte trasera carro de componentes. Fuente: Knorr-Bremse

Algunas de las ventajas que aportan estos carros de componentes son:

- Reducción de los tiempos de búsqueda: existen numerosos tipos de pequeños componentes y muy similares entre sí. Almacén los suministra en grandes bolsas y luego el operario tiene que buscar entre ellas y elegir el adecuado. Con esta idea se pretende reducir ese tiempo, ya que una vez el carro esté listo, el operario sólo tiene que elegir la gaveta correspondiente al punto de trabajo, y ahí dispone de los componentes necesarios y en las cantidades exactas.
- No se requiere grandes conocimientos: al estar todos los puntos de trabajo clasificados según el material necesario, no se requiere que el operario conozca en detalle cada uno de los componentes y sus distintas aplicaciones. El operario sólo tiene que seguir las instrucciones atentamente.
- Formación del operario: las imágenes y descripciones de cada componente ayudan a que el operario se familiarice con el material y con su uso.
- Detección de errores: cada una de las gavetas tiene la cantidad exacta de componentes necesarios. Si se da el caso que falta o sobra uno de ellos, es una señal de fallo y se debe buscar la fuente de éste.

### 8.5.5. Poka-Yoke para conectores

Como ya se comentó en el capítulo 4, el Poka-Yoke es una técnica de calidad cuyo objetivo es crear un sistema de producción que impida la generación de errores, o que por el contrario, su detección sea sencilla.

Durante el estudio de la presente línea productiva, se identificaron varios puntos donde la técnica del Poka-Yoke sería una solución rápida y sencilla a varios problemas. Éste es el caso de los conectores eléctricos.

Cada uno de los conectores está formado por numerosos contactos metálicos, denominados pines. De este hecho derivan los dos principales problemas:

- Elección incorrecta del pin a utilizar: la gran variedad de pines existentes, consecuencia de su utilidad, diseño y tamaño, hace que sea frecuente utilizar un modelo inadecuado al montar el subconjunto.
- Colocación incorrecta del pin en el conector

Por otro lado, se debe recordar la alta rotación del personal y la falta de formación de éste. Todo ello tiene como consecuencias:

- Baja capacidad de producción
- Repetición de trabajos constantes
- Elevados tiempos de búsqueda
- Baja productividad

La solución a estos problemas se puede encontrar utilizando varias herramientas ya estudiadas. El primero de los problemas, elección incorrecta del pin a utilizar, se ve reducido gracias al uso de los carros de componentes. Éstos permiten encontrar los elementos necesarios a utilizar y en la cantidad exacta.

Por otro lado, la mejora de los estándares y procedimientos, herramienta que se analizará a continuación, ayuda a los trabajadores a elegir el componente necesario. Esta herramienta también mejora el segundo problema detectado, elección incorrecta de los pines en las distintas posiciones del conector. Sin embargo, esto no es suficiente para evitar los defectos, ya que todavía son elevadas las posibilidades de error por despistes, inexperiencia, presión del ambiente de trabajo...

Por lo tanto, es una situación óptima para el uso de la técnica del Poka-Yoke. Siguiendo esta filosofía, se crea un útil para cada uno de los conectores y cada uno de los modelos de mazos eléctricos, de forma que sólo es necesario colocar este útil sobre el conector y así permitir fácilmente identificar los puntos que requieren de pines.

Esta parte del proyecto quedará pendiente de desarrollo por parte del departamento de Ingeniería una vez finalizado el periodo de prácticas en la empresa.

### **8.5.6. Manual de instrucciones**

Inicialmente los operarios contaban con un manual de procedimientos y hojas de detalles donde se definían los pasos a seguir y los componentes a utilizar.

Sin embargo, durante el estudio del mapeo de pérdidas se observa que los operarios tienen dificultades a la hora de trabajar con el manual de instrucciones, lo que crea frecuentes errores o pérdidas de tiempo de búsqueda de información. Y con este proyecto, aparece la oportunidad de mejorar dicho manual.

Hasta ahora el manual y los distintos anexos con detalles sobre funciones específicas como los puntos de cableado, se basaban en esquemas o diagramas simplificados. Los operarios encontraban dificultades para entenderlos y por ello se decide mejorar todos esos diagramas sustituyéndolos por fotografías, de forma que los operarios puedan comparar mediante fotografías la evolución del proceso a seguir.

Por otro lado, los operarios opinaban que existían explicaciones ambiguas u operaciones complejas sin ningún tipo de explicación. Por lo que se decide cambiar y mejorar todas aquellas anotaciones o explicaciones que los operarios creían que eran inadecuadas. Para ello fue necesaria la colaboración tanto de producción como del departamento de Ingeniería de diseños.

El objetivo era modificar el manual de instrucciones de forma que fuera lo más práctico posible a la hora del manejo de éste por parte de los operarios. Además, esto sirvió para que los internos se involucraran en las mejoras obtenidas con la implementación del proyecto.

### **8.5.7. Producción pieza a pieza**

Inicialmente, el sistema implantado en las líneas de producción objeto de estudio seguía un sistema de fabricación por lotes y, como ya se vio anteriormente en la introducción de este capítulo, este tipo de sistema productivo genera una acumulación excesiva de inventario intermedio.

Con este proyecto se pretende reducir dicho inventario y mejorar el sistema productivo a través de la implementación de un sistema pieza a pieza.

De acuerdo a todo lo visto anteriormente con respecto a las distintas medidas tomadas: equilibrado de estaciones de trabajo, distribución de la planta, Kanban de carros de componentes, paneles de herramientas, etc. Se hace un análisis similar al realizado anteriormente (véase el apartado 8.4.2) sobre la cantidad de trabajo en curso.

A través de la implementación del presente proyecto se tiene que el inventario intermedio entre estaciones es:



- Entre las estaciones 1 y 2:
  - 6 unidades (3 unidades de N1, y otras 3 de N2), procedentes del Kanban de carros de componentes.
- Entre las estaciones 2 y 3:
  - Ningún equipo – Las estaciones están equilibradas

Para comparar estos resultados es necesario analizar el material que está en curso desde el punto de vista económico. Para ello, anteriormente se consideró un coste de mano de obra por mazo eléctrico de 182,82€. Este valor estaba basado en las 15,76 horas de producción iniciales, sin embargo, una vez implantado el proyecto este tiempo de fabricación se ve reducido por lo que también lo hará el coste en la mano de obra.

En este caso, se considera que el coste de mano de obra por equipo es de 158€ ( $182,82 * 13,62 / 15,76 = 158€$ )

Por otro lado, el material en curso tiene distinto valor dependiendo de la estación en la que se encuentre. Para ello, es necesario recordar el porcentaje de tiempo de dedicación por estación: estación 1, 18%; estación 2, 41%; estación 3, 41%. Y además, es necesario considerar la cantidad de producto en cada estación (véase la tabla 8.17).

1. Line feeder:	6	unidades
2. Previas:	1	unidades
3. Montaje final en tablero:	1	unidades

Tabla 8.17: Inventario intermedio en unidades

En la tabla 8.18 se detalla el valor monetario de cada estación de trabajo respecto al coste de la mano de obra.

1. Line feeder:	$158 * 0,18 * 6 = 170,64$	euros
2. Previas:	$158 * 0,41 * 1 = 64,78$	euros
3. Montaje final en tablero:	$158 * 0,41 * 1 = 64,78$	euros
<b>TOTAL</b>	<b>300,2</b>	<b>euros</b>

Tabla 8.18: Inventario intermedio en valor monetario

Como conclusión, se deduce que el valor monetario promedio diario del trabajo en curso de acuerdo a la mano de obra es de 300,2 euros.

## 8.6. Resultados obtenidos y mejora continua

Una vez descritas las acciones y medidas implantadas en el presente caso práctico, es posible analizar los resultados obtenidos. Para ello, se toma como base comparativa el mapeo de pérdidas inicial y el propuesto tras la implantación del proyecto.

Tras el estudio inicial (véase el apartado 8.3.1) se observa que el porcentaje que ocupaban aquellas actividades que añadían valor al producto era de un 67% del tiempo total (véase gráfico 8.5). Este bajo porcentaje supuso una buena oportunidad de mejora del proceso productivo.

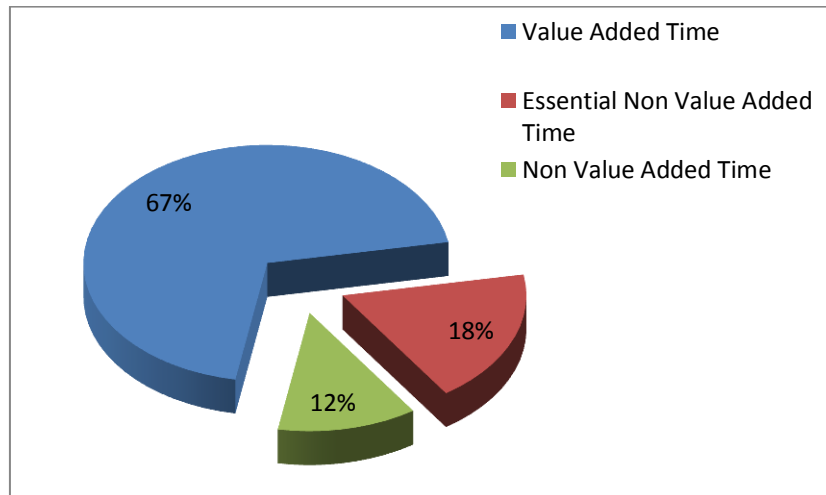


Gráfico 8.5: Situación inicial – Actividades de valor añadido

Para mejorar dicho proceso, se implementa el presente proyecto y con él todas las medidas desarrolladas anteriormente. Tras la implementación se tiene un proceso productivo más equilibrado, con menos transporte de material, menos movimiento de personal, más fácil de gestionar de forma visual y más productivo.

En el anexo 7 se detalla el procedimiento de trabajo final tras la implementación de todas las medidas adoptadas y además, cada una de las actividades es clasificada según sean actividades de valor añadido, esenciales pero sin añadir valor o actividades que no añaden valor al producto. El resultado obtenido se representa en la gráfica 8.6 y en este caso, el porcentaje de actividades que añaden valor al producto crece hasta llegar a un 82%.

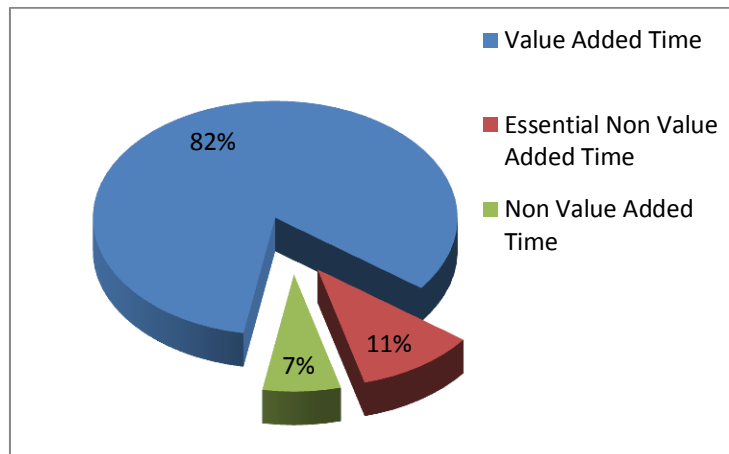


Gráfico 8.6: Situación futura – Actividades de valor añadido

Esta mejora también se puede ver reflejada a través del tiempo de operación. Inicialmente, como se detalla en el estudio inicial (apartado 8.3.1) la línea de producción tiene un tiempo de operación que representa un 89% del tiempo total. Véase el gráfico 8.7.

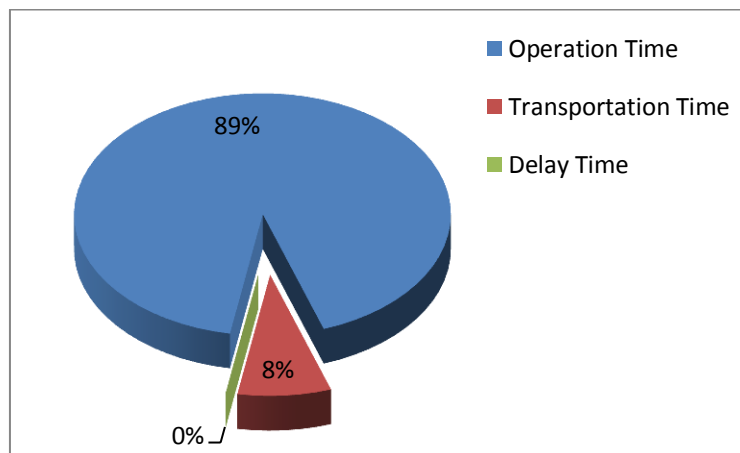


Gráfico 8.7: Situación inicial – Tiempo de operación

Tras el análisis del estudio y la definición e implementación del plan de acción se tiene una línea de operación final cuyo tiempo de operación llega al 98%. Véase el gráfico 8.8.

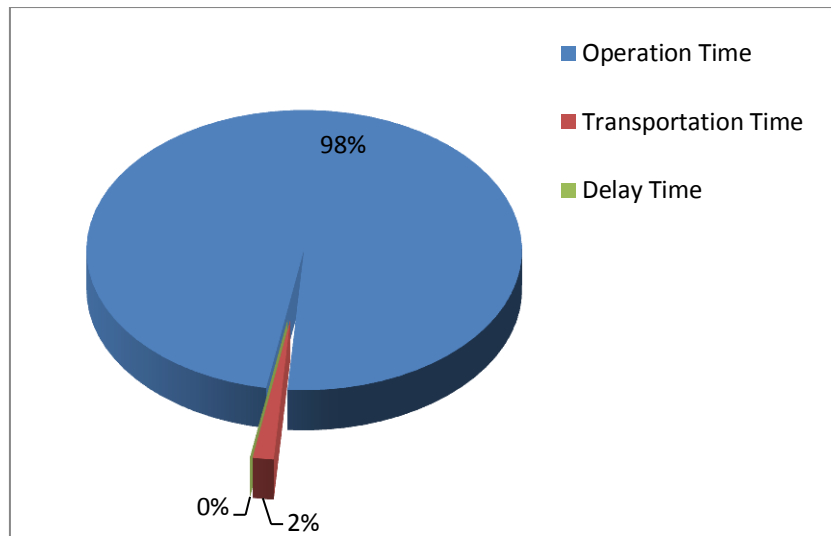


Gráfico 8.8: Situación futura – Tiempo de operación

Una vez alcanzado este punto, es necesario recordar que para continuar teniendo una línea de producción efectiva, es necesario llevar a cabo un plan de mejora continua de forma permanente.

Para conseguir el éxito de un proyecto como éste, no es suficiente sólo con implantar medidas de mejora. Para que los resultados obtenidos se mantengan en el tiempo se debe asegurar el cumplimiento de cada una de las acciones tomadas y la participación de todo el equipo.

En el capítulo 4, se analizaron en detalle varias herramientas de mejora continua que son fácilmente aplicables en este caso. El objetivo es mantener los resultados obtenidos en el medio-largo plazo y revisar de forma periódica las oportunidades de mejora y sus correspondientes planes de acción.

### 8.7. Resumen

El presente proyecto ha tenido una duración de 3 meses, y los logros obtenidos se muestran a continuación:

- Tiempo de ciclo:

Inicial: 15,76 horas

Final: 13,62 horas

Mejora: Reducción del tiempo de ciclo en un 13,6%.

- Tiempo de operación:

Inicial: 89%

Final: 98%

Mejora: Aumento del tiempo de operación en 9 puntos.

- Tiempo de valor añadido:

Inicial: 67%

Final: 82%

Mejora: Aumento del tiempo de valor añadido en 15 puntos.

- Valor monetario promedio de la línea de producción

Inicial: 534,57 €

Final: 300,29 €

Mejora: Ahorro del 43,83% del valor monetario en mano de obra acumulado en la línea de producción.

### 8.8. Retos – Futuras mejoras

Una vez implantado un sistema pieza a pieza y analizando los resultados obtenidos aparecen nuevas oportunidades de mejora para futuros proyectos. Entre ellos destacan:

- Incorporación a la línea de producción el corte de cable
- Kanban de producto terminado

Ambos proyectos fueron concebidos durante la realización del presente proyecto, pero no fueron puestos en marcha.

### 8.8.1 Incorporación del corte de cable a la línea de producción

Se define como corte de cable a las distintas operaciones que permiten suministrar el cableado listo para su posterior utilización: corte propiamente dicho, según las medidas especificadas, desforrado y numeración del cable.

Debido a la falta de proveedores, la empresa decide integrar la producción de este subconjunto en la línea de producción. Para ello, se pone en marcha un estudio sobre la capacidad y la gestión del suministro de material a la misma.

El objetivo es crear un sistema Kanban de forma que la línea siempre tenga material disponible para producir.

En primer lugar, se analiza la capacidad de producción. Para ello se estudia el tiempo de cambio, el tiempo disponible y el tiempo de producción.

En la tabla 8.19 se muestran los datos de partida:

<b>CANTIDAD TOTAL DE MAZOS DESDE LA SEMANA 15 HASTA LA 52</b>	<b>468</b>
<b>DISPONIBILIDAD (DÍAS)</b>	176
<b>OEE</b>	90%
<b>TIEMPO DISPONIBLE (MINUTOS)</b>	71280
<b>TIEMPO DE CAMBIO (MINUTOS)</b>	
<b>TIEMPO DE CAMBIO DE CABLE</b>	4,5
<b>TIEMPO DE CAMBIO DE CUCHILLAS</b>	2
<b>TIEMPO DE CAMBIO DE CABEZALES</b>	7
<b>TAKT TIME (MINUTOS/MAZO)</b>	152,31
<b>VELOCIDAD DE LA MÁQUINA (METROS/MINUTO)</b>	3

Tabla 8.19: Datos de la producción de corte de cable

El objetivo es comparar la demanda con la capacidad de producción, para lo que es necesario:

- Calcular el tiempo de operación para cada tipo de cable, con sus correspondientes tiempos de cambio
- Analizar la demanda por producto

En el anexo 8, se muestra cada uno de los modelos con demanda dentro del período de estudio (desde la semana 15 hasta la 52), la cantidad demandada y los tiempos de producción unitario y total para cada producto. También se representa el resultado semanal obtenido al comparar la demanda y la capacidad total.

En definitiva, el resultado final alcanzado se puede resumir de la siguiente manera:

- La utilización media por semana de la línea es de un 40%, lo cual permite una gran flexibilidad de producción.

- Elevados tiempos de cambio: hay referencias que si se hicieran unitariamente sería necesario más tiempo para el cambio de componentes que para la producción propiamente dicha.

De acuerdo a lo comentado anteriormente, se deduce que teniendo en cuenta la capacidad es posible implantar un sistema de lote unitario. Sin embargo, por cada corte de cable existen numerosos cambios de componentes, es decir, cabezales y cuchillas, y debido a lo delicado de dichos componentes, la frecuencia de cambio aumenta las posibilidades de deterioro de los mismos. Esto hace que se defina un lote mínimo de producción de 3 unidades.

Trasladando este análisis a la línea objeto de estudio en este proyecto, se decide implantar un sistema Kanban al comienzo de la línea que gestione el subconjunto del corte de cable.

Hay que recordar que este proyecto está enfocado en una línea de producción formada por dos modelos similares en diseño (N1 y N2). Sin embargo, es necesario diseñar un sistema Kanban para cada tipo de mazo eléctrico.

Para definir el diseño del sistema Kanban es necesario aplicar el análisis hecho anteriormente para el Kanban de carros de componentes en el capítulo anterior. La producción promedio de mazos es de 1,2 unidades al día, por lo tanto, ésta es la demanda de corte de cable. Esto quiere decir que implantar un sistema Kanban de dos unidades sería suficiente para satisfacer la demanda de la línea de producción.

Sin embargo, anteriormente se definió un lote de producción mínimo de 3 unidades, por lo que el Kanban mínimo debe ser, igualmente, de 3 unidades.

Por otro lado, como se ha visto anteriormente, las características singulares del centro de trabajo fuerzan a la implementación de un Kanban con un cierto stock de seguridad. Hay que recordar que aparte de la falta de experiencia de los operarios, se trata de un producto nuevo con una maquinaria nueva y muy delicada, que requiere la supervisión de trabajadores especializados.

Por todo ello, este Kanban se diseña inicialmente con una capacidad máxima de 4 unidades de producto. En la figura 8.10, se representa el aspecto que debería tener este Kanban:

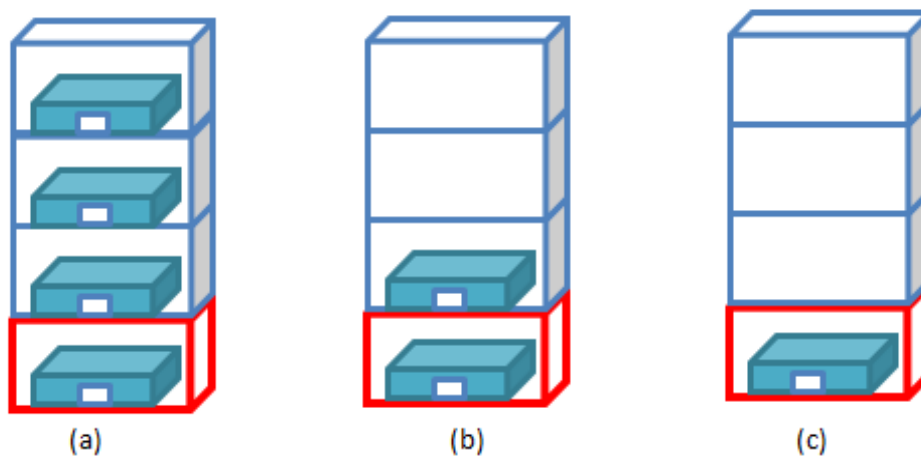


Figura 8.10: Kanban de corte de cable. Fuente: Elaboración propia

En la figura 8.10(a) se muestra la estantería inicialmente cargada a la máxima capacidad. Este material se irá consumiendo hasta llegar a la situación (b). Una vez el operario utilice esta tercera unidad de producto, situación (c), verá la línea roja, señal que indica la necesidad de producir. A continuación, el operario recogerá la tarjeta correspondiente al modelo a producir y la dejará en un tablón situado junto a la máquina de producción.

El tiempo de reaprovisionamiento es inferior a un día, y como se vio anteriormente, la línea demanda como promedio 1,2 cortes de cable al día. Por lo tanto, una vez consumido el tercer producto de la estantería Kanban, la unidad de seguridad será suficiente hasta que el nuevo lote de cable esté disponible para su utilización.

### 8.8.2. Kanban de producto terminado

Durante la realización de este proyecto se han implantado diversos sistemas Kanban en la línea piloto desarrollada. Cada uno de ellos ha sido diseñado con el objetivo de mejorar el suministro de material, reducir movimientos, reducir tiempos de búsqueda y mejorar así la productividad y la eficiencia de la línea.

Sin embargo, durante el periodo de implantación surge una nueva oportunidad de mejora, y ello implicará un sistema de Kanban de producto terminado.

La idea fundamental de un sistema “pull” es que el cliente final tire de la línea de producción. En el trabajo realizado, ésta es la filosofía implantada dentro de la línea, cada puesto de trabajo determina cuándo debe suministrarle material al anterior. Esta idea también es la que



guía este nuevo desarrollo, pero esta vez involucrando a la siguiente línea de producción (fabricación de equipos).

Para ello, se diseñará un Kanban de 2 unidades al final de la línea productiva para cada uno de los modelos. Una vez que el “cliente” consuma uno de los productos, los operarios de la línea mediante la tarjeta o carro de componentes correspondiente sabrán el siguiente modelo de mazo a producir.

Así también se espera mejorar la relación y comunicación con el departamento de logística y, por tanto, mejorar el suministro de material, con posibilidad de reducir el Kanban intermedio de carros de herramientas a dos unidades de cada modelo.

La situación final se muestra en la figura 8.11:

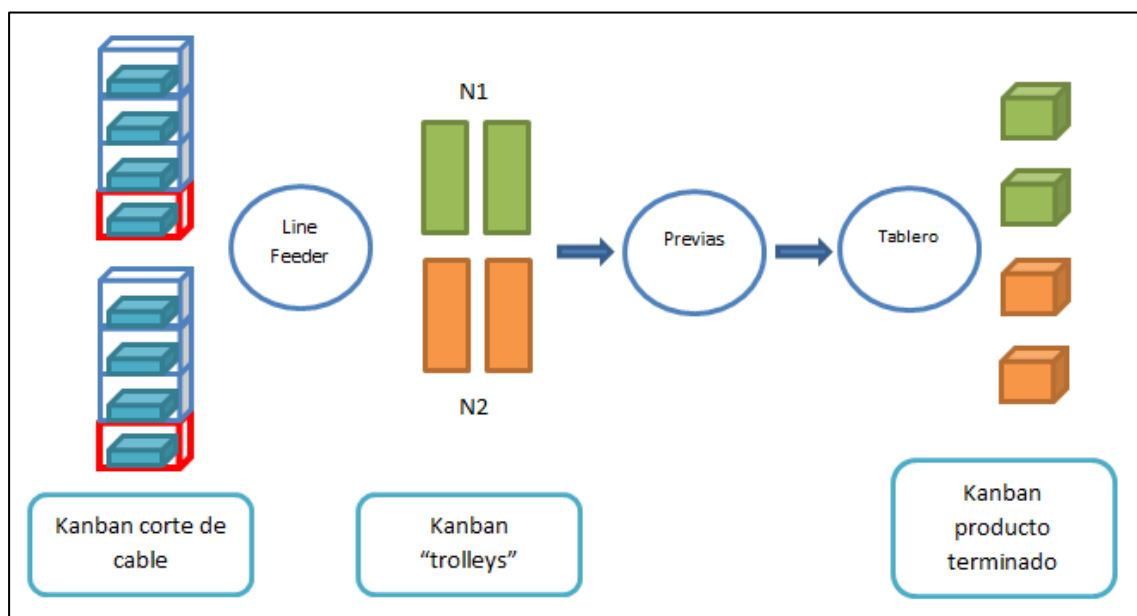


Figura 8.11: Kanban final. Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 9: Conclusiones

En este documento se ha analizado la aplicación de las herramientas de la filosofía de Lean Manufacturing en un entorno singular como es un centro penitenciario.

Como ya se comentó anteriormente, el objetivo de este proyecto es la implantación de un sistema de producción pieza a pieza que permita reducir tiempos de espera, inventario intermedio y movimientos de material.

Debido a las particularidades del entorno de trabajo, existen ciertas restricciones a la hora de aplicar las herramientas estudiadas al caso real, surgiendo así nuevos retos. Tras la realización del trabajo se pueden obtener las conclusiones siguientes.

Si se compara el entorno de trabajo de la empresa con un entorno tradicional de fabricación resulta que el primero de ellos está condicionado por aspectos externos a la propia producción, como pueden ser:

- Faltas o bajas de personal sin aviso previo
- Controles exhaustivos, con la posibilidad de retención de mercancía, en la entrada y salida de material.
- Falta de formación de los operarios
- Pérdida frecuente de operarios con experiencia y, por tanto, pérdida de know-how

Por otro lado, también existen dificultades a la hora de implantar el sistema de producción pieza a pieza, ya que existen numerosas restricciones relacionadas con la gestión de herramientas que dificultan el proceso productivo, afectando directamente a la productividad de la línea.

La filosofía Lean Manufacturing permite mejorar el sistema productivo desde un punto de vista más organizativo que hace referencia a la estandarización y a la mejora del desarrollo de procesos y, por otro lado, ofrece otro enfoque más técnico referente a conceptos tales como “Just In Time”, nivelación o producción continua.

Este último concepto de producción continua es el objetivo inicial del proyecto. A través de este tipo de producción se busca:

- Mejorar la calidad del producto mediante la inspección en la línea
- Reducir el inventario intermedio
- Mejorar el flujo de material
- Aumentar el control de la línea
- Mejorar la planificación y suministro de material

Como resultado de la aplicación de los conceptos de esta filosofía se obtiene un sistema productivo “pull”, es decir, tirado por las necesidades del cliente. Como ya se vio anteriormente, este concepto involucra al sistema productivo, a clientes y proveedores, de forma que tendrá importantes efectos en el control de calidad y en el flujo de trabajo.

Para la realización de este proyecto ha sido necesaria la colaboración del departamento de Ingeniería. Gracias a ello ha sido posible la definición del procedimiento a seguir para la implementación del sistema productivo pieza a pieza, la detección de oportunidades de mejora a través de la herramienta de Poka-Yoke, la gestión de suministro de material, etc.

Además, este proyecto ha permitido que la autora de este documento aplique los conocimientos aprendidos durante los estudios universitarios a un caso real, con los imprevistos y dificultades del día a día y el reto de mejorar.

## Bibliografía:

Knorr-Bremse. *Sistema de producción: un manual de métodos para el trabajador*. Alemania, 2005.

Grupo Galgano. *Forum Calidad* [en línea]. *La producción pieza a pieza*, nº 159, capítulo 5. Junio 2012 [ref. de 14 de Agosto de 2012]. Disponible en web: <<http://www.galgano.es/la-produccion-pieza-a-pieza-2/>>

Centro Europeo de Empresas Innovadoras de la Comunidad Valenciana (CEEI CV). *Organización de la producción*. Valencia, 2008. Disponible en web: <<http://www.comunidadilgo.org/portal/manualespyme/Organizaci%C3%B3n%20de%20la%20Producci%C3%B3n.pdf>> [ref. 10 de Septiembre de 2012]

Envirowise. *Waste Mapping: Your route to more profit* [Mapeo de pérdidas: El camino al mayor beneficio] Oxford (?). Disponible en web: <[http://www.enviroeu.com/online/file.php/1/eng-docs/EnviroWise\\_-\\_Waste\\_Mapping\\_Your\\_Route\\_To\\_More\\_Profit.pdf](http://www.enviroeu.com/online/file.php/1/eng-docs/EnviroWise_-_Waste_Mapping_Your_Route_To_More_Profit.pdf)> [ref. 1 de Abril de 2012]

*La estandarización de procesos, una nueva ventaja competitiva de las organizaciones* [En línea]. 2012 (?) [Ref. 20 de Noviembre de 2012]

RUIZ VÁSQUEZ, Rosa et al. *Gestión de Operaciones 1: Distribución en planta* [En línea] Lima, Perú; Enero 2008 [Ref. 20 de Enero 2013]. 51 diapositivas. Disponible en web: <<http://www.slideshare.net/gvivanco/distribucion-planta>>

TALAVERA PLEGUEZUELOS, Clemente. *El ciclo PDCA de Mejora Continua* [En línea]. Abril, 2012 [ref. 25 de Enero de 2013]. Disponible en web: <<http://www.aiteco.com/ciclo-pdca-de-mejora-continua/>>

RODRIGUEZ, Ricardo. *Push vs Pull* [En línea]. Mayo, 2012 [ref. 25 de Enero de 2013]. Disponible en web: <[http://prezi.com/\\_6yeez498es4/push-vs-pull/](http://prezi.com/_6yeez498es4/push-vs-pull/)>

## Anexo 1: Mapeo de pérdidas –Situación inicial

Estudio real del proceso de fabricación de un mazo eléctrico. En este análisis se detallan cada una de las actividades desarrolladas a lo largo del proceso productivo, a la vez que se clasifican según el tipo de actividad (operación, transporte o retraso) y el tiempo y/o distancia que requieren.

<b>Waste Map MAZO ELECTRICO 680Q10331 - 680A10084</b>							
		<b>Datos de actividad</b>			<b>Situación actual</b>		
		<b>Descripción de la actividad</b>	<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Retraso</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Distancia (m)</b>
<b>PREPARACION DE CAJA ELECTRICA, TAPA Y SOPORTE PASO DE TUBOS</b>	1	Espera para Coger Herramienta de Tablero	1			4,38	
	2	Coger Herramienta	1			96,66	
	3	Ir a Puesto de trabajo		1		37,02	31,85
	4	Coger y desembalar Caja Eléctrica	1			60,54	
	5	Poner etiquetas Tierra (3) en lateral caja	1			100,2	
	6	Ir a por spray (Barniz)		1		124,62	63,7
	7	Aplicar Barniz	1			10,02	
	8	Coger de Kanban tornillos para tierras y transformador		1		38,7	9,1
	9	Retaladrar soportes de fijación del transformador en caja eléctrica	1			43,26	
	10	Montar Transformador	1			143,88	
	11	Poner tornillos en tomas de tierra caja eléctrica	1			57,96	
	12	Desplazarse hasta Cizalla (cortar carriles)		1		43,14	7,8
	13	Cortar Perfiles (2) para caja eléctrica	1			73,5	
	14	Desplazarse con perfiles desde cizalla a P.T.		1		14,34	7,8
	15	Ir a por rotulador para marcar taladros		1		12,06	9,1
	16	Marcar taladros sobre perfiles (2)	1			29,52	0
	17	Desplazarse a tornillo en B.T.		1		42,18	13
	18	Realizar taladros en carriles (2)	1			84,48	0
	19	Volver a P.T. con carriles		1		10,08	13
	20	Desbarbar taladros en carriles	1			30,78	0
	21	coger remachadora y cambiar boquilla	1			73,8	0
	22	Remachar perfiles en caja eléctrica	1			69,18	0
	23	Montar Interruptor (Automático) en carril	1			52,74	0
	24	Ir a por bolsa con Numeración de bornas		1		275,04	63,7
	25	Numerar Bornas	1			431,76	0
	26	Montar bornas y puentes en carril de caja	1			669,84	0
	27	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1			210,6	0
	28	Ir a por mordaza (Panel herramientas en oficina)		1		76,92	63,7
	29	Montar racores en extremos de caja eléctrica	1			213,06	0
	30	Apretar racores con mordaza	1			179,16	0
	31	Ir a estantería, coger y llevar a P.T. Soporte paso de tubos		1		28,98	15,6
	32	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1			111,3	0
	33	Montar Racores en Soporte paso de Tubos	1			127,02	0
	34	Desplazarse a por tapa caja eléctrica		1		27,78	15,6

	35	Preparar tapa de caja eléctrica	1			74,82	0
	36	Coger de Kanban tornillos para tierras de tapa		1		20,4	9,1
	37	Poner tornillos en toma de tierra Tapa eléctrica	1			36,54	0
	38	Ir a por perfil EPDM para tapa		1		63,06	23,4
	39	Poner perfil EPDM en Tapa	1			225,6	0
	40	Ir por Loctite 480 (Negro)		1		88,86	63,7
	41	Aplicar Loctite en uniones de perfil en tapa	1			144,96	0
	42	Ir a oficina por cinta carroceros para embalar		1		100,2	63,7
	43	Embalar Caja Eléctrica, Tapa y soporte tubos para cableado Final	1			120,24	0
	44	Llevar Caja Eléctrica (embalada) a estantería		1		41,22	15,6
PREP CONECTORES	45	Desplaz. a por material previas conectores		1		157,68	19,5
	46	Desplazarse a por herramientas a oficina		1		173,52	54,6
	47	Clasificación de material Suministrado por Almacén en Gaveta	1			377,04	0
	48	Desplazarse a Kanban por racores		1		36,9	19,5
	49	Montar Racor recto en CM3 y CM4	1			54,3	0
	50	Montar Racor recto en CM2	1			19,26	0
	51	Ir a por bridas cremallera a Kanban		1		33,6	19,5
	52	Montar Modulo conector en bastidor y sujetar con brida cremallera para CM2, CM3 y CM4	1			66,78	0
PREPARACION CONECTOR CM-2	53	Quitar tornillo de bastidor CM2 y sustituir por codificadores M y H	1			251,16	0
	54	Cortar Pin Codificador a 10mm para CM2	1			221,4	0
	55	Colocar Pin Codificar en Modulo conector CM2	1			106,74	0
	56	Colocar Pines (sueltos) en CM2	1			260,76	0
	57	Desplazarse a por herramienta para comprobación de pines en modulo		1		28,86	23,4
	58	Clasificación de cables para CM2	1			856,68	0
	59	Desplazarse a por Manguitos señalizadores para CM2, CM3 y CM4		1		84,66	54,6
	60	Clasificar Manguitos para cables CM2	1			109,38	0
	61	Señalizar cables con manguitos para CM2	1			378,78	0
	62	Buscar Pines en gaveta suministrada por almacén para cables CM2	1			35,88	0
	63	Pelar y engastar terminales en extremos de cables para CM2	1			346,56	0
	64	Poner cable tierra en CM2	1			79,14	0
	65	Mirar apuntes y terminar de conectar cables en CM2	1			200,28	0
	66	Ir a por sacapines		1		122,88	54,6
	67	Quitar Pin de Conector CM2	1			17,28	0
	68	Coger tubos E, F y A de estantería	1			156,9	0
	69	Colocar cables en carcasa CM2	1			318,3	0
	70	Ir por cinta de carroceros		1		72,06	54,6
	71	colocar cables en Tubo "A"	1			89,34	0
	72	Ir a Kanban a por derivación, clips de racores		1		161,64	16,25
	73	Quitar cinta de extremo e introducir cables por derivación	1			131,22	0
	74	Colocar cables en tubo "E"	1			45,54	0

	75	Colocar cables en tubo "F"	1			38,7	0
	76	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			144,9	0
	77	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			66,96	0
	78	Señalizar con manguitos cables de tubo "F"	1			108,24	0
	79	Buscar terminales para cables tubo "F"	1			74,46	0
	80	Pelar extremo de cables tubo "F"	1			76,26	0
	81	Engastar terminales tubo "F"	1			142,08	0
	82	Señalizar con manguitos cables de tubo "E"	1			40,98	0
	83	Pelar extremo de cables tubo "E"	1			21,72	0
	84	Engastar terminales tubo "E"	1			128,34	0
	85	Recoger conector terminado CM2 y dejar en estantería	1			152,04	0
PREPARACION CONECTOR CM-3	86	Poner codificadores macho en CM3	1			95,52	0
	87	Buscar Pines sueltos para CM3	1			41,82	0
	88	Colocar Pin codificador en módulo CM3	1			79,5	0
	89	Clasificar cables para CM3	1			515,04	0
	90	Pelar extremo de cables apantallados	1			177,84	0
	91	Desenredar malla de cable apantallado	1			330,9	0
	92	Ir a por tijeras a oficina		1		72	54,6
	93	Ir a por macarrón retráctil		1		56,52	32,5
	94	Cortar trozos de retráctil para malla de CM3	1			105,84	0
	95	Poner y retraer macarrón retráctil en pantallas	1			581,7	0
	96	Desplazarse a por decapador		1		27,78	10,4
	97	Clasificar manguitos para cables CM3	1			336,54	0
	98	Colocar Manguitos en cables CM3	1			263,22	0
	99	Sanear extremos de cables apantallados	1			85,08	0
	100	Pelar extremo de cables	1			90,54	0
	101	Buscar Pines	1			73,62	0
	102	Engastar Pines	1			263,64	0
	103	Pelar conexión Malla	1			48,42	0
	104	Engastar terminal en conexión malla	1			213,12	0
	105	Poner Manguitos en Pantallas CM3	1			867,24	0
	106	Recoger sobrante de manguitos	1			53,58	0
	107	Preparar cables tierra	1			155,46	0
	108	Poner Manguitos en Cables Tierra	1			46,98	0
	109	Mirar apuntes y terminar de conectar conector CM3	1			470,16	0
	110	Conectar cable tierra en CM3	1			117,42	0
	111	Mirar apuntes y separar mangueras en CM3	1			205,44	0
	112	Comprobar cable tierra en apuntes para CM3	1			64,08	0
	113	Colocar cables en carcas CM3	1			273,42	0
	114	Coger tubos "B" y "G"	1			64,74	0
	115	Poner tubo "B"	1			64,92	0
	116	Ir a por bifurcación "T" a Kanban	1			93,66	15,6
	117	Colocar unión "T"	1			119,58	0
	118	Poner tubo "G" con adaptador	1			200,22	0
	119	Identificar mangueras con manguitos (B, C, D, E, L y M)	1			347,34	0
	120	Coger mangueras con "T", medir y cortar el	1			160,02	0

		sobranter					
	121	Desforrar Mangueras "L" y "M" a L=1300 mm	1			148,56	0
	122	Desenredar y cortar Malla a mangueras "L y M" cortando cable N° 4	1			161,16	0
	123	Pelar el resto de Mangueras a L=70 mm. (B, C, D, E)	1			177,42	0
	124	Poner y retractilar macarrón en extremos de mangueras	1			197,1	0
	125	Señalizar hilos de conexiones de Mangueras	1			376,2	0
	126	Sujetar cables y quitar cinta a mangueras de extremos en tubo G	1			65,28	0
	127	Identificar con manguitos Mangueras de tubo G	1			61,74	0
	128	Medir y cortar sobrante de Mangueras	1			121,5	0
	129	Desforrar extremos de Mangueras tubo G	1			182	0
	130	Retractilar extremos de Mangueras	1			55	0
	131	Señalizar hilos de conexiones de Pantallas	1			92	0
	132	Buscar y poner terminal a Tierra	1			63	0
	133	Recoger conector CM3 terminado y colocar en estantería	1			146	0
PREPARACION CONECTOR CM-4	134	Recoger Manguitos	1			139	0
	135	Buscar cables para conector CM4	1			144,66	0
	136	Desforrar la Manguera "A" (3500 mm)	1			576,18	0
	137	Quitar papel protector Manguera "A"	1			60,06	0
	138	Medir y cortar cables 18,19,20 en ambos extremos	1			267	0
	139	Desforrar la Manguera "K" (700mm)	1			181	0
	140	Buscar retráctil para Manguera "K" y "A"		1		70	32,5
	141	Poner y retraer retráctil en Manguera "K". E1t desforrado 700mm	1			48	0
	142	Desforrar extremo a 1320 en Manguera "K"	1			86	0
	143	Poner y retraer retráctil en extremo L=1320 Manguera "K"	1			51	0
	144	Tirar fundas y recoger puesto de trabajo		1		103	67,6
	145	Poner retráctil en Manguera "A"	1			162	0
	146	Mirar apuntes, separar y agrupar cables en extremo de Manguera "A"	1			273	0
	147	Coger y organizar rollo de cables (cant. 11 sección 1mm)	1			512	0
	148	Coger tubos C, D, M, A, N para CM4 y siliconas 13, 14, DHPBI1, DHPBI2	1			248	0
	149	Ir a Kanban a por bifurcación		1		66	19,5
	150	Coger Manguera "K", enrollar y sujetar con bridas 1320	1			85	0
	151	Poner bifurcación en extremo de 720 (Manguera "K")	1			66	0
	152	Coger Manguera "A", enrollar y sujetar con bridas (idem. 150)	1			68	0
	153	Poner bifurcación en Manguera "A"	1			115	0
	154	Coger grupos de cables (11) y conectar en las bifurcaciones con tubo D	1			179,52	0
	155	Poner tubo "C"	1			74,4	0
	156	Poner carcasa CM4	1			62,82	0



157	Poner tubo "K" en extremo y poner cables (lado Manguera "A")	1			86,88	0
158	Poner otra bifurcación para el tubo "K"	1			74,04	0
159	Separar cables 227A2, 227DA	1			194,1	0
160	Poner tubo "M"	1			39,42	0
161	Poner tubo "N"	1			51,66	0
162	Poner siliconas en cables de extremo tubo "N"	1			393,12	0
163	Ir a Kanban a por bridas		1		20,1	19,5
164	Sujetar extremos de cables junto a carcasa CM4 con bridas	1			176,04	0
165	Ir a oficina a por herramienta		1		89,04	54,6
166	Medir y cortar sobrante en cables de carcasa CM4	1			199,26	0
167	Buscar pines para CM4 (12 cables)	1			48,6	0
168	Pelar cables para CM4 (mirar apuntes)	1			53,82	0
169	Engastar pines en CM4 (12 cables)	1			134,46	0
170	Pelar cables CM4 (11 cables)	1			45,78	0
171	Engastar pines en CM4 (11 cables)	1			135,84	0
172	Mirar apuntes, separar cables de Manguera "A" en CM4	1			187,14	0
173	Pelar puntas de resto de cables de Manguera "A"	1			45	0
174	Engastar pines del paso anterior	1			115	0
175	Buscar manguitos	1			310	0
176	Ir a por tijeras		1		15	11,7
177	Ordenar manguitos	1			51	0
178	Poner manguitos en cables de carcasa CM4 (33 manguitos)	1			681	0
179	Conectar al módulo CM4 (con apuntes)	1			564	0
180	Poner pin codificador (8)	1			79	0
181	Pelar, engastar y conectar Tierra en módulo CM4	1			95	0
182	Quitar tornillos y poner pin codificador (hembras)	1			335	0
183	Montar módulo en carcasa CM4	1			92	0
184	Poner clip en racores y bifurcaciones	1			63	0
185	Cortar cables de tubo "M" (según medida)	1			75	0
186	Cortar cables de la silicona	1			176	0
187	Extraer manguitos de cables, extremo opuesto a carcasa	1			203,7	0
188	Limpieza de puesto de trabajo		1		39	15,6
189	Poner manguitos en cables de silicona	1			176	0
190	Poner manguitos en cables de tubo "M"	1			63	0
191	Poner manguitos en cables de tubo "A"	1			262	0
192	Poner manguitos en cables de tubo "K"	1			152	0
193	Poner terminales en cables de silicona 13, 14, y juntas de estanqueidad	1			93	0
194	Buscar terminales para las siliconas 13 y 14	1			73	0
195	Ir a oficina a buscar herramienta engastadora		1		78,6	54,6
196	Ir a buscar clips para bifurcaciones		1		64,32	54,6
197	Poner clips en bifurcaciones	1			24,72	0
198	Ajustar con mordaza racor de carcasa CM4	1			51	0

	199	Recoger conector terminado CM4 y colocar en estantería	1			117	0
	200	Llevar herramientas a oficina		1		38	54,6
PREP. KIT DE ENVÍO	201	Selección de cables para Kit de Envío	1			193	0
	202	Mirar apuntes y e1traer cables de rollos	1			280	0
	203	Seleccionar siliconas	1			74	0
	204	Poner trozo de siliconas a cables	1			308	0
	205	Buscar manguitos	1			127	0
	206	Poner manguitos en cables de Kit de Envío	1			334	0
	207	Poner terminales en cables silicona CM1	1			175	0
	208	Mirar apuntes y buscar terminales	1			53	0
	209	Agrupar Kit de Envío	1			513	0
	210	Recoger resto de material sobrante	1			111	0
TROLLEY	211	Ir a por carro de componentes		1		79	52
	212	Colocar parte trasera de carro	1			509,58	0
	213	Colocar parte delantera de carro	1			1138,98	0
	214	Desplazar carro hasta tablero mazo		1		99,18	54,6
	215	Recoger puesto de trabajo	1			28,38	0
CABLEADO GENERAL	216	Recoger herramientas y llevar a tablero		1		247,5	13
	217	Coger caja eléctrica, quitar cinta y posicionar en el tablero	1			68,1	0
	218	Coger y distribuir sobre el tablero CM2-3 y 4	1			1485,66	0
	219	Ir a por material, manguitos		1		46,14	48,1
	220	Separar cables de Manguera "K"	1			169,5	0
	221	Coger de carro puentes y terminales	1			37,44	0
	222	Coger Tierras e identificar con manguitos	1			238,32	0
	223	Engastar terminales en extremo de cable Tierra	1			107,34	0
	224	Distribuir cables Tierra por caja eléctrica	1			162,06	0
	225	Levantar y recortar tapa de transformador	1			38,1	0
	226	Ir a por terminal de Tierra		1		131,88	57,2
	227	Engastar terminal cable Tierra de "K" (con nota)	1			181,32	0
	228	Ir a oficina a por caja de carraca		1		42,6	19,5
	229	Apretar tornillos de toma Tierra	1			69,66	0
	230	Distribuir cables Tierra, maceando pequeños grupos	1			136,92	0
	231	Separar cables de Manguera "K", dirección transformador	1			832,8	0
	232	Identificar con manguitos	1			116,34	0
	233	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar en el transformador	1			375,96	0
	234	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar al automático	1			246	0
	235	Ir a oficina a por herramienta, vaso de 7		1		145	35,1
	236	Quitar tuercas de regleta de bornas (36)	1			407	0
	237	Poner brida a mazo de cable, lado automático	1			86	0
	238	Terminar de macear con cables Tierra, usando 5 bridas	1			162	0
	239	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar cables N5 y N, en puente de regleta de bornas	1			282	0

	240	Poner puentes N1, N2, N3 y N4 e identificar con manguitos	1			372,84	0
	241	Conectar puentes en bornas	1			131,1	0
	242	Agrupar cables y crear mazo para regleta de bornas	1			3756	0
	243	Quitar racor recto y sustituir por prensa, en caja eléctrica		1		110	54,6
	244	Medir, cortar, pelar y engastar cables en caja eléctrica	1			926	0
	245	Atornillar terminales en regleta de bornas (16)	1			770	0
	246	Poner brida y macear cables paso prensa	1			142	0
	247	Pelar cable apantallado B6	1			236	0
	248	Ir a por retráctil y calentador		1		53	0
	249	Poner retráctil en extremo de cable B6	1			20	0
	250	Pasar por prensa de cable B6	1			89	0
	251	Ir a por manguitos y siliconas		1		171	0
	252	Mirar apuntes	1			68,7	0
	253	Poner siliconas en cables de bobina y poner manguitos	1			873,84	0
	254	Terminar extremos de apantallado F, J, G, H	1			254,7	0
	255	Ir a por manguitos		1		54,96	54,6
	256	Distribuir cables y terminar extremos para VE-FR-EG, TRECAS1	1			493,44	0
	257	Conectar MHPBI2, MHPBI1, 13, 14	1			233,1	0
	258	Conectar CM2 en bornas de panel	1			108,06	0
	259	Coger bobinas de Trolley, terminales y diodos	1			157,38	0
	260	Preparar bobinas solenoides	1			70,68	0
	261	Preparar bobinas DANFOSS	1			38,04	0
	262	Conectar cables en bobinas	1			1815,12	0
	263	Ir a por herramienta engastadora Megatrack		1		47,04	18,2
	264	Ir a por Clemas		1		84,48	54,6
	265	Preparar terminales de 227A2, 227BA	1			97,44	0
	266	Macear, medir, cortar, pelar, engastar lado 2 de regleta de bornas	1			549,42	0
	267	Colocar bornas de prueba	1			397,56	0
	268	Macarrón retráctil en cables reservas en caja eléctrica	1			26,64	0
	269	Terminar extremos de pantallas B, E, D, C	1			479	0
	270	Ir a por dinamométrica		1		47	14,3
	271	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			12	0
	272	Dar par de apriete a 16 tornillos	1			68	0
	273	Marcar par de apriete	1			72,24	0
	274	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			59,46	0
	275	Dar par de apriete tornillos Tierra	1			26,82	0
	276	Marcar par de apriete (Tierra)	1			21,78	0
PRUEBA DE MAZO	277	Ir a por probador y conectar a mazo	1			166,92	0
	278	Apretar prensas de caja eléctrica	1			222,12	0
	279	Realizar prueba	1			466,38	0
	280	Desconectar mangueras de prueba	1			107,94	0
	281	Inspeccionar mazo	1			265,62	0

	282	Corregir errores de mazo	1			530,7	0
	283	Recoger mazo de tablero y embalar	1			872,52	0
KIT	284	Buscar manguitos para Kit de Envío		1		384,9	45,5
	285	Ir a por Engastadora Megatrack		1		21,42	13
	286	Limpiar puesto de trabajo	1			129,72	0
CORTE DE TUBO, SILICONA Y MALLA	287	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1			180,66	0
	288	Desplazarse a Kanban a por rollo de tubo	1			102,72	0
	289	Cortar tubo diámetro 23, 1500mm	1			51,84	0
	290	Preparar tubo diámetro 23, 400mm	1			48,84	0
	291	Preparar tubo diámetro 23, 430mm	1			29,88	0
	292	Preparar tubo diámetro 17, 120mm	1			47,52	0
	293	Preparar tubo diámetro 17, 1800mm	1			67,5	0
	294	Preparar tubo diámetro 17, 700mm	1			46,56	0
	295	Preparar tubo diámetro 17, 1000mm	1			51	0
	296	Preparar tubo diámetro 12, 2400mm	1			76,74	0
	297	Preparar tubo diámetro 12, 1050mm	1			36,78	0
	298	Preparar tubo diámetro 12, 1200mm	1			44,28	0
	299	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1			248,52	0
	300	Preparar silicona tipo 10, 800mm	1			34,8	0
	301	Preparar silicona tipo 8, 1060mm	1			40,02	0
	302	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			22,74	0
	303	Preparar silicona tipo 8, 650mm 12	1			43,8	0
	304	Preparar silicona tipo 6, 550mm	1			40,74	0
	305	Preparar silicona tipo 6, 400mm	1			25,98	0
	306	Preparar silicona tipo 6, 1160mm	1			26,58	0
	307	Preparar silicona tipo 8, 900mm	1			35,34	0
	308	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			29,46	0
	309	Preparar silicona tipo 8, 1200mm	1			30,66	0
	310	Preparar silicona tipo 8, 650mm	1			25,02	0
	311	Ir y preparar silicona tipo 4, 450mm	1			60,06	0
	312	Preparar silicona tipo 4, 650mm	1			22,38	0
	313	Preparar silicona tipo 4, 350mm 12	1			43,02	0
	314	Agrupar siliconas	1			103,26	0
	315	Mirar apuntes, recoger mallas y desplazarse a zona de corte de malla con etiquetas	1			96,12	0
	316	Corte de malla, diámetro 25, 700 y 400mm	1			76,8	0
	317	Recoger malla (zona Kanban, tubos)	1			33,66	0
	318	Agrupar todo material (tubo, silicona, malla)	1			149,28	0
				Total		56728,86	1838,2

## Anexo 2: Análisis de actividades de valor añadido – Situación inicial

Análisis y clasificación de cada una de las actividades desarrolladas en la producción de un mazo eléctrico según sean actividades que añaden valor al producto, que no lo hacen pero aun así son necesarias, o que no añaden valor al producto y deben ser eliminadas.

<b>Waste Map MAZO ELECTRICO 680Q10331 - 680A10084</b>								
			<b>Datos de actividad</b>			<b>Evaluación de Valor</b>		
<b>Descripción de la actividad</b>			<b>Operación</b>	<b>Transporte</b>	<b>Retraso</b>	<b>VA</b>	<b>ENVA</b>	<b>NVA</b>
<b>PREPARACION DE CAJA ELECTRICA, TAPA Y SOPORTE PASO DE TUBOS</b>	1	Espera para Cogeer Herramienta de Tablero	1					1
	2	Cogeer Herramienta	1					1
	3	Ir a Puesto de trabajo		1				1
	4	Cogeer y desembalar Caja Eléctrica	1				1	
	5	Poner etiquetas Tierra (3) en lateral caja	1			1		
	6	Ir a por spray (Barniz)		1				1
	7	Aplicar Barniz	1			1		
	8	Cogeer de Kanban tornillos para tierras y transformador		1				1
	9	Retaladrar soportes fijación del transformador. en caja eléctrica	1					1
	10	Montar Transformador	1			1		
	11	Poner tornillos en tomas de tierra caja eléctrica	1			1		
	12	Desplazarse hasta Cizalla (cortar carriles)		1				1
	13	Cortar Perfiles (2) para caja eléctrica	1			1		
	14	Desplazarse con perfiles desde cizalla a P.T.		1				1
	15	Ir a por rotulador para marcar taladros		1				1
	16	Marcar taladros sobre perfiles (2)	1			1		
	17	Desplazarse a tornillo en B.T.		1				1
	18	Realizar taladros en carriles (2)	1			1		
	19	Volver a P.T. con carriles		1				1
	20	Desbarbar taladros en carriles	1			1		
	21	cogeer remachadora y cambiar boquilla	1				1	
	22	Remachar perfiles en caja eléctrica	1			1		
	23	Montar Interruptor (Automático) en carril	1			1		
	24	Ir a por bolsa con Numeración de bornas		1				1
	25	Numerar Bornas	1			1		
	26	Montar bornas y puentes en carril de caja	1			1		
	27	Cogeer de Kanban racores y llevar a P.T.	1				1	
	28	Ir a por mordaza (Panel herramientas en oficina)		1				1
	29	Montar racores en extremos de caja eléctrica	1			1		
	30	Apretar racores con mordaza	1			1		
	31	Ir a estantería, cogeer y llevar a P.T. Soporte paso de tubos		1				1
	32	Cogeer de Kanban racores y llevar a P.T.	1				1	
	33	Montar Racores en Soporte paso de Tubos	1			1		
	34	Desplazarse a por tapa caja eléctrica		1				1
	35	Preparar tapa de caja eléctrica	1			1		

	36	Coger de Kanban tornillos para tierras de tapa		1		1	
	37	Poner tornillos en toma de tierra Tapa eléctrica	1			1	
	38	Ir a por perfil EPDM para tapa		1			1
	39	Poner perfil EPDM en Tapa	1			1	
	40	Ir por Loctite 480 (Negro)		1			1
	41	Aplicar Loctite en uniones de perfil en tapa	1			1	
	42	Ir a oficina por cinta carrozero para embalar		1			1
	43	Embalar Caja Eléctrica, Tapa y soporte tubos para cableado Final	1			1	
	44	Llevar Caja Eléctrica (embalada) a estantería		1			1
PREP CONECTORES	45	Desplaz. a por material previas conectores		1			1
	46	Desplazarse a por herramientas a oficina		1			1
	47	Clasificación de material Suministrado por Almacén en Gaveta	1			1	
	48	Desplazarse a Kanban por racores		1			1
	49	Montar Racor recto en CM3 y CM4	1			1	
	50	Montar Racor recto en CM2	1			1	
	51	Ir a por bridas cremallera a Kanban		1			1
	52	Montar Modulo conector en bastidor y sujetar con brida cremallera para CM2, CM3 y CM4	1			1	
PREPARACION CONECTOR CM-2	53	Quitar tornillo de bastidor CM2 y sustituir por codificadores M y H	1			1	
	54	Cortar Pin Codificador a 10mm para CM2	1			1	
	55	Colocar Pin Codificar en Modulo conector CM2	1			1	
	56	Colocar Pines (suelos) en CM2	1			1	
	57	Desplazarse a por herramienta para comprobación de pines en modulo		1			1
	58	Clasificación de cables para CM2	1			1	
	59	Desplazarse a por Manguitos señalizadores para CM2, CM3 y CM4		1			1
	60	Clasificar Manguitos para cables CM2	1			1	
	61	Señalizar cables con manguitos para CM2	1			1	
	62	Buscar Pines en gaveta suministrada por almacén para cables CM2	1				1
	63	Pelar y engastar terminales en extremos de cables para CM2	1			1	
	64	Poner cable tierra en CM2	1			1	
	65	Mirar apuntes y terminar de conectar cables en CM2	1			1	
	66	Ir a por sacapines		1			1
	67	Quitar Pin de Conector CM2	1			1	
	68	Coger tubos E, F y A de estantería	1			1	
	69	Colocar cables en carcasa CM2	1			1	
	70	Ir por cinta de carrozero		1			1
	71	colocar cables en Tubo "A"	1			1	
	72	Ir a Kanban a por derivación, clips de racores		1			1
	73	Quitar cinta de extremo e introducir cables por derivación	1			1	
	74	Colocar cables en tubo "E"	1			1	
	75	Colocar cables en tubo "F"	1			1	

	76	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			1		
	77	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			1		
	78	Señalizar con manguitos cables de tubo "F"	1			1		
	79	Buscar terminales para cables tubo "F"	1				1	
	80	Pelar extremo de cables tubo "F"	1			1		
	81	Engastar terminales tubo "F"	1			1		
	82	Señalizar con manguitos cables de tubo "E"	1			1		
	83	Pelar extremo de cables tubo "E"	1			1		
	84	Engastar terminales tubo "E"	1			1		
	85	Recoger conector terminado CM2 y dejar en estantería	1				1	
PREPARACION CONECTOR CM-3	86	Poner codificadores macho en CM3	1			1		
	87	Buscar Pines sueltos para CM3	1				1	
	88	Colocar Pin codificador en módulo CM3	1			1		
	89	Clasificar cables para CM3	1				1	
	90	Pelar extremo de cables apantallados	1			1		
	91	Desenredar malla de cable apantallado	1			1		
	92	Ir a por tijeras a oficina		1				1
	93	Ir a por macarrón retráctil		1				1
	94	Cortar trozos de retráctil para malla de CM3	1			1		
	95	Poner y retraer macarrón retráctil en pantallas	1			1		
	96	Desplazarse a por decapador		1				1
	97	Clasificar manguitos para cables CM3	1				1	
	98	Colocar Manguitos en cables CM3	1			1		
	99	Sanear extremos de cables apantallados	1			1		
	100	Pelar extremo de cables	1			1		
	101	Buscar Pines	1				1	
	102	Engastar Pines	1			1		
	103	Pelar conexión Malla	1			1		
	104	Engastar terminal en conexión malla	1			1		
	105	Poner Manguitos en Pantallas CM3	1			1		
	106	Recoger sobrante de manguitos	1				1	
	107	Preparar cables tierra	1			1		
	108	Poner Manguitos en Cables Tierra	1			1		
	109	Mirar apuntes y terminar de conectar conector CM3	1				1	
	110	Conectar cable tierra en CM3	1			1		
	111	Mirar apuntes y separar mangueras en CM3	1				1	
	112	Comprobar cable tierra en apuntes para CM3	1			1		
	113	Colocar cables en carcas CM3	1			1		
	114	Coger tubos "B" y "G"	1				1	
	115	Poner tubo "B"	1			1		
	116	Ir a por bifurcación "T" a Kanban	1					1
	117	Colocar unión "T"	1			1		
	118	Poner tubo "G" con adaptador	1			1		
	119	Identificar mangueras con manguitos (B, C, D, E, L y M)	1			1		
	120	Coger mangueras con "T", medir y cortar el sobrante	1			1		

	121	Desforrar Mangueras "L" y "M" a L=1300 mm	1			1		
	122	Desenredar y cortar Malla a mangueras "L y M" cortando cable Nº 4	1			1		
	123	Pelar el resto de Mangueras a L=70 mm. (B, C, D, E)	1			1		
	124	Poner y retractilar macarrón en extremos de mangueras	1			1		
	125	Señalizar hilos de conexiones de Mangueras	1			1		
	126	Sujetar cables y quitar cinta a mangueras de extremos en tubo G	1				1	
	127	Identificar con manguitos Mangueras de tubo G	1			1		
	128	Medir y cortar sobrante de Mangueras	1			1		
	129	Desforrar extremos de Mangueras tubo G	1			1		
	130	Retractilar extremos de Mangueras	1			1		
	131	Señalizar hilos de conexiones de Pantallas	1			1		
	132	Buscar y poner terminal a Tierra	1				1	
	133	Recoger conector CM3 terminado y colocar en estantería	1				1	
	134	Recoger Manguitos	1					1
PREPARACION CONECTOR CM-4	135	Buscar cables para conector CM4	1				1	
	136	Desforrar la Manguera "A" (3500 mm)	1			1		
	137	Quitar papel protector Manguera "A"	1				1	
	138	Medir y cortar cables 18,19,20 en ambos extremos	1			1		
	139	Desforrar la Manguera "K" (700mm)	1			1		
	140	Buscar retráctil para Manguera "K" y "A"		1			1	
	141	Poner y retraer retráctil en Manguera "K". E1t desforrado 700mm	1			1		
	142	Desforrar extremo a 1320 en Manguera "K"	1			1		
	143	Poner y retraer retráctil en extremo L=1320 Manguera "K"	1			1		
	144	Tirar fundas y recoger puesto de trabajo		1				1
	145	Poner retráctil en Manguera "A"	1			1		
	146	Mirar apuntes, separar y agrupar cables en extremo de Manguera "A"	1				1	
	147	Coger y organizar rollo de cables (cant. 11 sección 1mm)	1				1	
	148	Coger tubos C, D, M, A, N para CM4 y siliconas 13, 14, DHPBI1, DHPBI2	1				1	
	149	Ir a Kanban a por bifurcación		1				1
	150	Coger Manguera "K", enrollar y sujetar con bridas 1320	1				1	
	151	Poner bifurcación en extremo de 720 (Manguera "K")	1			1		
	152	Coger Manguera "A", enrollar y sujetar con bridas (idem. 150)	1				1	
	153	Poner bifurcación en Manguera "A"	1			1		
	154	Coger grupos de cables (11) y conectar en las bifurcaciones con tubo D	1			1		
	155	Poner tubo "C"	1			1		
	156	Poner carcasa CM4	1			1		
	157	Poner tubo "K" en extremo y poner cables (lado	1			1		



	Manguera "A")						
158	Poner otra bifurcación para el tubo "K"	1			1		
159	Separar cables 227A2, 227DA	1				1	
160	Poner tubo "M"	1			1		
161	Poner tubo "N"	1			1		
162	Poner siliconas en cables de extremo tubo "N"	1			1		
163	Ir a Kanban a por bridas		1				1
164	Sujetar extremos de cables junto a carcasa CM4 con bridas	1				1	
165	Ir a oficina a por herramienta		1				1
166	Medir y cortar sobrante en cables de carcasa CM4	1			1		
167	Buscar pines para CM4 (12 cables)	1				1	
168	Pelar cables para CM4 (mirar apuntes)	1			1		
169	Engastar pines en CM4 (12 cables)	1			1		
170	Pelar cables CM4 (11 cables)	1			1		
171	Engastar pines en CM4 (11 cables)	1			1		
172	Mirar apuntes, separar cables de Manguera "A" en CM4	1				1	
173	Pelar puntas de resto de cables de Manguera "A"	1			1		
174	Engastar pines del paso anterior	1			1		
175	Buscar manguitos	1				1	
176	Ir a por tijeras		1				1
177	Ordenar manguitos	1					1
178	Poner manguitos en cables de carcasa CM4 (33 manguitos)	1			1		
179	Conectar al módulo CM4 (con apuntes)	1			1		
180	Poner pin codificador (8)	1			1		
181	Pelar, engastar y conectar Tierra en módulo CM4	1			1		
182	Quitar tornillos y poner pin codificador (hembras)	1			1		
183	Montar módulo en carcasa CM4	1			1		
184	Poner clip en racores y bifurcaciones	1			1		
185	Cortar cables de tubo "M" (según medida)	1			1		
186	Cortar cables de la silicona	1			1		
187	Extraer manguitos de cables, extremo opuesto a carcasa	1			1		
188	Limpieza de puesto de trabajo		1				1
189	Poner manguitos en cables de silicona	1			1		
190	Poner manguitos en cables de tubo "M"	1			1		
191	Poner manguitos en cables de tubo "A"	1			1		
192	Poner manguitos en cables de tubo "K"	1			1		
193	Poner terminales en cables de silicona 13, 14, y juntas de estanqueidad	1			1		
194	Buscar terminales para las siliconas 13 y 14	1				1	
195	Ir a oficina a buscar herramienta engastadora		1				1
196	Ir a buscar clips para bifurcaciones		1				1
197	Poner clips en bifurcaciones	1			1		
198	Ajustar con mordaza racor de carcasa CM4	1			1		
199	Recoger conector terminado CM4 y colocar en	1				1	

		estantería						
	200	Llevar herramientas a oficina		1				1
PREP. KIT DE ENVÍO	201	Selección de cables para Kit de Envío	1				1	
	202	Mirar apuntes y e1traer cables de rollos	1				1	
	203	Seleccionar siliconas	1			1		
	204	Poner trozo de siliconas a cables	1			1		
	205	Buscar manguitos	1				1	
	206	Poner manguitos en cables de Kit de Envío	1			1		
	207	Poner terminales en cables silicona CM1	1			1		
	208	Mirar apuntes y buscar terminales	1				1	
	209	Agrupar Kit de Envío	1				1	
	210	Recoger resto de material sobrante	1					1
TROLLEY	211	Ir a por Trolley		1				1
	212	Colocar parte trasera de carro	1					1
	213	Colocar parte delantera de carro	1					1
	214	Desplazar carro hasta tablero mazo		1				1
	215	Recoger puesto de trabajo	1					1
CABLEADO GENERAL	216	Recoger herramientas y llevar a tablero		1				1
	217	Coger caja eléctrica, quitar cinta y posicionar en el tablero	1				1	
	218	Coger y distribuir sobre el tablero CM2-3 y 4	1			1		
	219	Ir a por material, manguitos		1				1
	220	Separar cables de Manguera "K"	1				1	
	221	Coger de carro puentes y terminales	1				1	
	222	Coger Tierras e identificar con manguitos	1			1		
	223	Engastar terminales en extremo de cable Tierra	1			1		
	224	Distribuir cables Tierra por caja eléctrica	1			1		
	225	Levantar y recortar tapa de transformador	1				1	
	226	Ir a por terminal de Tierra		1				1
	227	Engastar terminal cable Tierra de "K" (con nota)	1			1		
	228	Ir a oficina a por caja de carraca		1				1
	229	Apretar tornillos de toma Tierra	1			1		
	230	Distribuir cables Tierra, maceando pequeños grupos	1			1		
	231	Separar cables de Manguera "K", dirección transformador	1			1		
	232	Identificar con manguitos	1			1		
	233	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar en el transformador	1			1		
	234	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar al automático	1			1		
	235	Ir a oficina a por herramienta, vaso de 7		1				1
	236	Quitar tuercas de regleta de bornes (36)	1			1		
	237	Poner brida a mazo de cable, lado automático	1			1		
	238	Terminar de macear con cables Tierra, usando 5 bridas	1			1		
	239	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar cables N5 y N, en puente de regleta de bornas	1			1		
	240	Poner puentes N1, N2, N3 y N4 e identificar con	1			1		

		manguitos					
	241	Conectar puentes en bornas	1			1	
	242	Agrupar cables y crear mazo para regleta de bornas	1			1	
	243	Quitar racor recto y sustituir por prensa, en caja eléctrica		1		1	
	244	Medir, cortar, pelar y engastar cables en caja eléctrica	1			1	
	245	Atornillar terminales en regleta de bornas (16)	1			1	
	246	Poner brida y macear cables paso prensa	1			1	
	247	Pelar cable apantallado B6	1			1	
	248	Ir a por retráctil y calentador		1			1
	249	Poner retráctil en extremo de cable B6	1			1	
	250	Pasar por prensa de cable B6	1			1	
	251	Ir a por manguitos y siliconas		1			1
	252	Mirar apuntes	1				1
	253	Poner siliconas en cables de bobina y poner manguitos	1			1	
	254	Terminar extremos de apantallado F, J, G, H	1			1	
	255	Ir a por manguitos		1			1
	256	Distribuir cables y terminar extremos para VE-FR-EG, TRECAS1	1			1	
	257	Conectar MHPBI2, MHPBI1, 13, 14	1			1	
	258	Conectar CM2 en bornas de panel	1			1	
	259	Coger bobinas de carro, terminales y diodos	1			1	
	260	Preparar bobinas solenoides	1			1	
	261	Preparar bobinas DANFOSS	1			1	
	262	Conectar cables en bobinas	1			1	
	263	Ir a por herramienta engastadora Megatrack		1			1
	264	Ir a por Clemas		1			1
	265	Preparar terminales de 227A2, 227BA	1			1	
	266	Macear, medir, cortar, pelar, engastar lado 2 de regleta de bornas	1			1	
	267	Colocar bornas de prueba	1				1
	268	Macarrón retráctil en cables reservas en caja eléctrica	1			1	
	269	Terminar extremos de pantallas B, E, D, C	1			1	
	270	Ir a por dinamométrica		1			1
	271	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1				1
	272	Dar par de apriete a 16 tornillos	1			1	
	273	Marcar par de apriete	1			1	
	274	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1				1
	275	Dar par de apriete tornillos Tierra	1			1	
	276	Marcar par de apriete (Tierra)	1			1	
PRUEBA DE MAZO	277	Ir a por probador y conectar a mazo	1				1
	278	Apretar prensas de caja eléctrica	1			1	
	279	Realizar prueba	1			1	
	280	Desconectar mangueras de prueba	1				1
	281	Inspeccionar mazo	1				1
	282	Corregir errores de mazo	1			1	

KIT ENVÍO	283	Recoger mazo de tablero y embalar	1				1	
	284	Buscar manguitos para Kit de Envío		1				1
	285	Ir a por Engastadora Megatrack		1				1
	286	Limpiar puesto de trabajo	1					1
CORTE DE TUBO, SILICONA Y MALLA	287	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1				1	
	288	Desplazarse a Kanban a por rollo de tubo	1				1	
	289	Cortar tubo diámetro 23, 1500mm	1			1		
	290	Preparar tubo diámetro 23, 400mm	1			1		
	291	Preparar tubo diámetro 23, 430mm	1			1		
	292	Preparar tubo diámetro 17, 120mm	1			1		
	293	Preparar tubo diámetro 17, 1800mm	1			1		
	294	Preparar tubo diámetro 17, 700mm	1			1		
	295	Preparar tubo diámetro 17, 1000mm	1			1		
	296	Preparar tubo diámetro 12, 2400mm	1			1		
	297	Preparar tubo diámetro 12, 1050mm	1			1		
	298	Preparar tubo diámetro 12, 1200mm	1			1		
	299	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1				1	
	300	Preparar silicona tipo 10, 800mm	1			1		
	301	Preparar silicona tipo 8, 1060mm	1			1		
	302	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			1		
	303	Preparar silicona tipo 8, 650mm 12	1			1		
	304	Preparar silicona tipo 6, 550mm	1			1		
	305	Preparar silicona tipo 6, 400mm	1			1		
	306	Preparar silicona tipo 6, 1160mm	1			1		
	307	Preparar silicona tipo 8, 900mm	1			1		
	308	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			1		
	309	Preparar silicona tipo 8, 1200mm	1			1		
	310	Preparar silicona tipo 8, 650mm	1			1		
	311	Ir y preparar silicona tipo 4, 450mm	1			1		
	312	Preparar silicona tipo 4, 650mm	1			1		
	313	Preparar silicona tipo 4, 350mm 12	1			1		
	314	Agrupar siliconas	1				1	
	315	Mirar apuntes, recoger mallas y desplazarse a zona de corte de malla con etiquetas	1				1	
	316	Corte de malla, diámetro 25, 700 y 400mm	1			1		
	317	Recoger malla (zona Kanban, tubos)	1				1	
	318	Agrupar todo material (tubo, silicona, malla)	1				1	

### Anexo 3: Mapeo de pérdidas – Situación final

Resultado del proceso de fabricación de un mazo eléctrico tras la mejora del procedimiento a seguir, el equilibrado de estaciones y la eliminación de desperdicios. En este análisis se detallan cada una de las actividades definidas en el proceso de producción final, y se clasifican según el tipo de actividad (operación, transporte o retraso) y el tiempo y/o distancia que requieren.

			<u>Datos de actividad</u>			<u>Situación futura</u>	
			<u>Operación</u>	<u>Transporte</u>	<u>Retraso</u>	<u>Tiempo (s)</u>	<u>Distancia (m)</u>
		<u>Descripción de la actividad</u>					
CORTE TUBO, SILICONA Y MALLA	1	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1			180,66	
	2	Coger de Kanban y posicionar rollo de tubo	1			102,72	
	3	Cortar tubo diámetro 23, 1500mm	1			51,84	
	4	Preparar tubo diámetro 23, 400mm	1			48,84	
	5	Preparar tubo diámetro 23, 430mm	1			29,88	
	6	Preparar tubo diámetro 17, 120mm	1			47,52	
	7	Preparar tubo diámetro 17, 1800mm	1			67,5	
	8	Preparar tubo diámetro 17, 700mm	1			46,56	
	9	Preparar tubo diámetro 17, 1000mm	1			51	
	10	Preparar tubo diámetro 12, 2400mm	1			76,74	
	11	Preparar tubo diámetro 12, 1050mm	1			36,78	
	12	Preparar tubo diámetro 12, 1200mm	1			44,28	
	13	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1			248,52	
	14	Preparar silicona tipo 10, 800mm	1			34,8	
	15	Preparar silicona tipo 8, 1060mm	1			40,02	
	16	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			22,74	
	17	Preparar silicona tipo 8, 650mm x2	1			43,8	
	18	Preparar silicona tipo 6, 550mm	1			40,74	
	19	Preparar silicona tipo 6, 400mm	1			25,98	
	20	Preparar silicona tipo 6, 1160mm	1			26,58	
	21	Preparar silicona tipo 8, 900mm	1			35,34	
	22	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			29,46	
	23	Preparar silicona tipo 8, 1200mm	1			30,66	
	24	Preparar silicona tipo 8, 650mm	1			25,02	
	25	Ir y preparar silicona tipo 4, 450mm	1			60,06	
	26	Preparar silicona tipo 4, 650mm	1			22,38	
	27	Preparar silicona tipo 4, 350mm x2	1			43,02	
	28	Agrupar siliconas	1			103,26	
	29	Mirar apuntes, recoger mallas y desplazarse a zona de corte de malla con etiquetas	1			92	3,5
	30	Corte de malla, diámetro 25, 700 y 400mm	1			76,8	
	31	Recoger malla (zona Kanban, tubos)	1			33,66	
	32	Agrupar todo material (tubo, silicona, malla)	1			149,28	
ICA, TAPA Y	33	Coger y desembalar Caja Eléctrica	1			61	0
	34	Poner etiquetas Tierra (3) en lateral caja	1			100	0

	35	Ir a por spray (Barniz)		1		125	63,7
	36	Aplicar Barniz	1			10	0
	37	Coger de Kanban tornillos para tierras y transformador		1		30	9,1
	38	Retaladrar soportes fijacc. Transform. en caja eléctrica	1			43	
	39	Montar Transformador	1			144	
	40	Poner tornillos en tomas de tierra caja elect.	1			58	
	41	Desplazarse hasta Cizalla (cortar carriles)		1		43	7,8
	42	Cortar Perfiles (2) para caja eléctrica	1			73,5	
	43	Desplazarse con perfiles desde cizalla a P.T.		1		14	7,8
	44	Realizar taladros en carriles (2)	1			84	0
	45	Desbarbar taladros en carriles	1			31	0
	46	Volver a P.T. con carriles		1		10	13
	47	Coger remachadora y cambiar boquilla	1			74	0
	48	Remachar perfiles en caja eléctrica	1			69	0
	49	Numerar Bornas	1			432	0
	50	Montar bornas y puentes en carril de caja	1			980	0
	51	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1			140	0
	52	Coger mordaza		1		3	0
	53	Montar racores en extremos de caja eléctrica	1			213	0
	54	Apretar racores con mordaza	1			179	0
	55	Ir a estantería, coger y llevar a P.T. Soporte paso de tubos		1		29	15,6
	56	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1			70	0
	57	Montar Racores en Soporte paso de Tubos	1			127	0
	58	Desplazarse a por tapa caja eléctrica		1		28	15,6
	59	Preparar tapa de caja eléctrica	1			75	0
	60	Coger de Kanban tornillos para tierras de tapa		1		14	6
	61	Poner tornillos en toma de tierra Tapa elect.	1			37	0
	62	Ir a por perfil EPDM para tapa		1		63	23,4
	63	Poner perfil EPDM en Tapa	1			226	0
	64	Coger Loctite 480 (Negro)		1		3	0
	65	Aplicar Loctite en uniones de perfil en tapa	1			145	0
	66	Coger cinta carroceros para embalar		1		3	0
	67	Llevar Caja Eléctrica (sin embalar) a carro		1		6	1
PREPARACIÓN TROLLEY	68	Ir a por carro		1		20	8
	69	Llevar Caja Eléctrica (sin embalar) a carro		1		6	1
	70	Clasificación de material Suministrado por Almacén en Gaveta	1			377	0
	71	Selección de cables para Kit de Envío	1			193	
	72	Mirar apuntes y extraer cables de rollos	1			280	
	73	Seleccionar siliconas	1			74	
	74	Poner trozo de siliconas a cables	1			308	
	75	Buscar manguitos	1			127	
	76	Mirar apuntes y buscar terminales	1			53	
	77	Colocar parte trasera de carro	1			510	
	78	Colocar parte delantera de carro	1			1139	

	79	Recoger resto de material sobrante	1			30	
	80	Desplazar carro hasta zona previas		1		99	54,6
	81	Recoger puesto de trabajo	1			28	
	82	Montar Racor recto en CM3 y CM4	1			54	0
	83	Montar Racor recto en CM2	1			19	0
	84	Montar Modulo conector en bastidor y sujetar con brida cremallera para CM2, CM3 y CM4	1			67	
PREPARACION CM2	85	Quitar tornillo de bastidor CM2 y sustituir por codificadores M y H	1			251	
	86	Cortar Pin Codificador a 10mm para CM2	1			221	
	87	Colocar Pin Codificar en Modulo conector CM2	1			107	
	88	Colocar Pines (suelos) en CM2	1			261	
	89	Coger herramienta para comprobación de pines en modulo		1		3	0
	90	Señalizar cables con manguitos para CM2	1			379	0
	91	Pelar y engastar terminales en extremos de cables para CM2	1			347	0
	92	Poner cable tierra en CM2	1			79	0
	93	Mirar apuntes y terminar de conectar cables en CM2	1			200	0
	94	Coger sacapines		1		3	0
	95	Colocar cables en carcasa CM2	1			318	0
	96	Coger cinta de carroceros		1		3	0
	97	colocar cables en Tubo "A"	1			89	0
	98	Coger de carro derivación, clips de racores		1		3	0
	99	Quitar cinta de extremo e introducir cables por derivación	1			131	0
	100	Colocar cables en tubo "E"	1			46	0
	101	Colocar cables en tubo "F"	1			39	0
	102	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			145	0
	103	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			67	0
	104	Señalizar con manguitos cables de tubo "F"	1			108	0
	105	Coger terminales para cables tubo "F"	1			6	0
	106	Pelar extremo de cables tubo "F"	1			76	0
	107	Engastar terminales tubo "F"	1			142	0
	108	Señalizar con manguitos cables de tubo "E"	1			41	0
	109	Pelar extremo de cables tubo "E"	1			22	0
	110	Engastar terminales tubo "E"	1			128	0
	111	Recoger conector terminado CM2 y dejar en carro	1			152	
PREPARACIÓN CM3	112	Poner codificadores macho en CM3	1			96	0
	113	Coger Pines sueltos para CM3	1			3	0
	114	Colocar Pin codificador en módulo CM3	1			79,5	
	115	Coger cables para CM3	1			8	0
	116	Pelar extremo de cables apantallados	1			178	
	117	Desenredar malla de cable apantallado	1			331	
	118	Coger macarrón retráctil		1		10	4
	119	Cortar trozos de retráctil para malla de CM3	1			106	
	120	Poner y retraer macarrón retráctil en pantallas	1			582	

	121	Coger decapador		1		3	0
	122	Coger manguitos para cables CM3	1			8	0
	123	Colocar Manguitos en cables CM3	1			263	
	124	Sanear extremos de cables apantallados	1			85	
	125	Pelar extremo de cables	1			91	
	126	Coger Pines	1			5	0
	127	Engastar Pines	1			264	
	128	Pelar conexión Malla	1			48	
	129	Engastar terminal en conexión malla	1			213	
	130	Poner Manguitos en Pantallas CM3	1			867	
	131	Preparar cables tierra	1			155	
	132	Poner Manguitos en Cables Tierra	1			47	
	133	Mirar apuntes y terminar de conectar conector CM3	1			470	
	134	Conectar cable tierra en CM3	1			117	
	135	Mirar apuntes y separar mangueras en CM3	1			205	
	136	Comprobar cable tierra en apuntes para CM3	1			64	
	137	Colocar cables en carcas CM3	1			273	
	138	Coger tubos "B" y "G"	1			3	0
	139	Poner tubo "B"	1			65	
	140	Coger bifurcación "T" de carro		1		3	0
	141	Colocar unión "T"	1			120	
	142	Poner tubo "G" con adaptador	1			200	
	143	Identificar mangueras con manguitos (B, C, D, E, L y M)	1			347	
	144	Coger mangueras con "T", medir y cortar el sobrante	1			160	
	145	Desforrar Mangueras "L" y "M" a L=1300 mm	1			149	
	146	Desenredar y cortar Malla a mangueras "L y M" cortando cable Nº 4	1			161	
	147	Pelar el resto de Mangueras a L=70 mm. (B, C, D, E)	1			177	
	148	Poner y retractilar macarrón en extremos de mangueras	1			197	
	149	Señalizar hilos de conexiones de Mangueras	1			376	
	150	Sujetar cables y quitar cinta a mangueras de extremos en tubo G	1			65	
	151	Identificar con manguitos Mangueras de tubo G	1			62	
	152	Medir y cortar sobrante de Mangueras	1			122	
	153	Desforrar extremos de Mangueras tubo G	1			182	
	154	Retractilar extremos de Mangueras	1			55	
	155	Señalizar hilos de conexiones de Pantallas	1			92	
	156	Coger y poner terminal a Tierra	1			63	
	157	Recoger conector CM3 terminado y colocar en carro	1			146	
PREPARACIÓN CM4	158	Coger cables para conector CM4	1			3	0
	159	Desforrar la Manguera "A" (3500 mm)	1			576	
	160	Quitar papel protector Manguera "A"	1			60	
	161	Medir y cortar cables 18,19,20 en ambos extremos	1			267	



162	Desferrar la Manguera "K" (700mm)	1			181	
163	Coger retráctil para Manguera "K" y "A"		1		3	0
164	Poner y retraer retráctil en Manguera "K". Ext desferrado 700mm	1			48	
165	Desferrar extremo a 1320 en Manguera "K"	1			86	
166	Poner y retraer retráctil en extremo L=1320 Manguera "K"	1			51	
167	Tirar fundas y recoger puesto de trabajo		1		35	4
168	Poner retráctil en Manguera "A"	1			162	
169	Mirar apuntes, separar y agrupar cables en extremo de Manguera "A"	1			273	
170	Coger y organizar rollo de cables (cant. 11 sección 1mm)	1			512	
171	Coger tubos C, D, M, A, N para CM4 y siliconas X3, X4, DHPBI1, DHPBI2	1			20	
172	Coger bifurcación		1		3	0
173	Coger Manguera "K", enrollar y sujetar con bridas 1320	1			85	
174	Poner bifurcación en extremo de 720 (Manguera "K")	1			66	
175	Coger Manguera "A", enrollar y sujetar con bridas (idem. 150)	1			68	
176	Poner bifurcación en Manguera "A"	1			115	
177	Coger grupos de cables (11) y conectar en las bifurcaciones con tubo D	1			180	
178	Poner tubo "C"	1			74	
179	Poner carcasa CM4	1			63	
180	Poner tubo "K" en extremo y poner cables (lado Manguera "A")	1			87	
181	Poner otra bifurcación para el tubo "K"	1			74	
182	Separar cables 227A2, 227DA	1			194	
183	Poner tubo "M"	1			39	
184	Poner tubo "N"	1			52	
185	Poner siliconas en cables de extremo tubo "N"	1			393	
186	Coger bridas de carro		1		3	0
187	Sujetar extremos de cables junto a carcasa CM4 con bridas	1			176	
188	Coger herramienta		1		3	0
189	Medir y cortar sobrante en cables de carcasa CM4	1			199	
190	Coger pines para CM4 (12 cables)	1			10	0
191	Pelar cables para CM4 (mirar apuntes)	1			54	
192	Engastar pines en CM4 (12 cables)	1			134	
193	Pelar cables CM4 (11 cables)	1			46	
194	Engastar pines en CM4 (11 cables)	1			136	
195	Mirar apuntes, separar cables de Manguera "A" en CM4	1			187	
196	Pelar puntas de resto de cables de Manguera "A"	1			45	
197	Engastar pines del paso anterior	1			115	
198	Coger manguitos	1			40	
199	Coger tijeras		1		3	0

	200	Ordenar manguitos	1			51	
	201	Poner manguitos en cables de carcasa CM4 (33 manguitos)	1			681	
	202	Conectar al módulo CM4 (con apuntes)	1			564	
	203	Poner pin codificador (8)	1			79	
	204	Pelar, engastar y conectar Tierra en módulo CM4	1			95	
	205	Quitar tornillos y poner pin codificador (hembras)	1			335	
	206	Montar módulo en carcasa CM4	1			92	
	207	Poner clip en racores y bifurcaciones	1			63	
	208	Cortar cables de tubo "M" (según medida)	1			75	
	209	Cortar cables de la silicona	1			176	
	210	Extraer manguitos de cables, extremo opuesto a carcasa	1			204	
	211	Limpieza de puesto de trabajo		1		10	4
	212	Poner manguitos en cables de silicona	1			176	
	213	Poner manguitos en cables de tubo "M"	1			63	
	214	Poner manguitos en cables de tubo "A"	1			262	
	215	Poner manguitos en cables de tubo "K"	1			152	
	216	Poner terminales en cables de silicona X3, X4, y juntas de estanqueidad	1			93	
	217	Coger terminales para las siliconas X3 y X4	1			20	0
	218	Coger herramienta engastadora		1		3	0
	219	Coger clips para bifurcaciones		1		10	0
	220	Poner clips en bifurcaciones	1			25	
	221	Ajustar con mordaza racor de carcasa CM4	1			51	
	222	Recoger conector terminado CM4 y colocar en carro	1			117	
	223	Llevar herramientas en tablero de la línea		1		15	0
KIT DE ENVÍO	224	Poner manguitos en cables de Kit de Envío	1			334	
	225	Poner terminales en cables silicona CM1	1			175	
	226	Agrupar Kit de Envío	1			513	
CABLEADO GENERAL	227	Recoger herramientas y llevar a tablero		1		30	4
	228	Coger caja eléctrica, quitar cinta y posicionar en el tablero	1			68	
	229	Coger y distribuir sobre el tablero CM2-3 y 4	1			1486	
	230	Coger material, manguitos		1		10	0
	231	Separar cables de Manguera "K"	1			170	
	232	Coger de carro puentes y terminales	1			37	
	233	Coger Tierras e identificar con manguitos	1			238	
	234	Engastar terminales en extremo de cable Tierra	1			107	
	235	Distribuir cables Tierra por caja eléctrica	1			162	
	236	Levantar y recortar tapa de transformador	1			38	
	237	Coger terminal de Tierra		1		3	0
	238	Engastar terminal cable Tierra de "K" (con nota)	1			181	
	239	Coger caja de carraca		1		10	4
	240	Apretar tornillos de toma Tierra	1			70	
	241	Distribuir cables Tierra, maceando pequeños	1			137	

	grupos					
242	Separar cables de Manguera "K", dirección transformador	1			833	
243	Identificar con manguitos	1			116	
244	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar en el transformador	1			376	
245	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar/poner al automático	1			293	0
246	Ir a oficina a por herramienta, vaso de 7		1		10	4
247	<b>Quitar tuercas de regleta de bornas (36)</b>	1			310	
248	Poner brida a mazo de cable, lado automático	1			86	
249	Terminar de macear con cables Tierra, usando 5 bridas	1			162	
250	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar cables N5 y N, en puente de regleta de bornas	1			282	
251	Poner puentes N1, N2, N3 y N4 e identificar con manguitos	1			373	
252	Conectar puentes en bornas	1			131	
253	Agrupar cables y crear mazo para regleta de bornas	1			3756	
254	Medir, cortar, pelar y engastar cables en caja eléctrica	1			926	
255	Atornillar terminales en regleta de bornas (16)	1			770	
256	Poner brida y macear cables paso prensa	1			142	
257	Pelar cable apantallado B6	1			236	
258	Coger retráctil y calentador		1		10	0
259	Poner retráctil en extremo de cable B6	1			20	
260	Pasar por prensa de cable B6	1			89	
261	Coger manguitos y siliconas		1		20	0
262	Mirar apuntes	1			69	
263	Poner siliconas en cables de bobina y poner manguitos	1			874	
264	Terminar extremos de apantallado F, J, G, H	1			255	
265	Coger manguitos		1		20	0
266	Distribuir cables y terminar extremos para VE-FR-EG, TRECAS1	1			493	
267	Conectar MHPBI2, MHPBI1, X3, X4	1			233	
268	Conectar CM2 en bornas de panel	1			108	
269	Coger bobinas de carro, terminales y diodos	1			157	0
270	Preparar bobinas solenoides	1			71	
271	Preparar bobinas DANFOSS	1			38	
272	Conectar cables en bobinas	1			1815	
273	Coger herramienta engastadora Megatrack		1		10	4
274	Coger Clemas		1		10	0
275	Preparar terminales de 227A2, 227BA	1			97	
276	Macear, medir, cortar, pelar, engastar lado 2 de regleta de bornas	1			549	
277	Macarrón retráctil en cables reservas en caja eléctrica	1			27	
278	Terminar extremos de pantallas B, E, D, C	1			479	

	279	Coger dinamométrica		1		3	0
	280	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			12	
	281	Dar par de apriete a 16 tornillos	1			68	
	282	Marcar par de apriete	1			72	
	283	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			59	
	284	Dar par de apriete tornillos Tierra	1			27	
	285	Marcar par de apriete (Tierra)	1			22	
	286	Apretar prensas de caja eléctrica	1			222	
PRUEBA DE MAZO	289	Colocar bornas de prueba	1			398	
	290	Ir a por probador y conectar a mazo	1			167	
	291	Realizar prueba	1			466	
	292	Desconectar mangueras de prueba	1			108	
	293	Inspeccionar mazo	1			266	
	294	Corregir errores de mazo	1			0	
KIT DE ENVÍO	295	Recoger mazo de tablero y embalar	1			873	
	296	Buscar manguitos para Kit de Envío		1		10	4
	297	Ir a por Engastadora Megatrack		1		10	4
	298	Limpiar puesto de trabajo	1			130	

#### Anexo 4: Suministro real de material y producción por lotes

Caso real de suministro de la materia prima para la fabricación de mazos eléctricos y la fecha de salida de éstos. Las columnas (a), (b), (c), (d) y (f) hacen referencia a los datos reales obtenidos mediante la observación del suministro de material. Sin embargo, la columna (e) es una estimación del tiempo de salida de un mazo eléctrico considerando que el tiempo de producción requerido por la estación 3 (tablero) es de 1 día desde que el lote correspondiente está terminado en la estación 2 (previas).

Lote-serie (a)	Entrada (b)	Salida Montaje (c)	Salida Previas (d)	Salida Tablero (e)	Salida Real Tablero (f)
1-N2-205	12-ene	13-ene	17-ene	17-ene	27-ene
1-N2-206	12-ene	13-ene	17-ene	18-ene	28-ene
1-N2-207	12-ene	13-ene	17-ene	19-ene	31-ene
1-N2-208	12-ene	13-ene	17-ene	20-ene	01-feb
2-N2-209	27-ene	28-ene	30-ene	31-ene	02-feb
2-N2-210	27-ene	28-ene	30-ene	01-feb	07-feb
2-N2-211	27-ene	28-ene	30-ene	02-feb	08-feb
3-N2-212	07-feb	08-feb	12-feb	13-feb	15-feb
3-N2-213	07-feb	08-feb	12-feb	14-feb	16-feb
3-N2-214	07-feb	08-feb	12-feb	15-feb	20-feb
3-N2-215	07-feb	08-feb	12-feb	16-feb	20-feb
4-N2-216	17-feb	17-feb	20-feb	21-feb	28-feb
4-N2-217	17-feb	17-feb	20-feb	22-feb	01-mar
5-N1-213	13-ene	14-ene	17-ene	18-ene	24-ene
5-N1-214	13-ene	14-ene	17-ene	19-ene	25-ene
5-N1-215	13-ene	14-ene	17-ene	20-ene	26-ene
6-N1-216	20-ene	20-ene	24-ene	25-ene	26-ene
6-N1-217	20-ene	20-ene	24-ene	26-ene	27-ene
6-N1-218	20-ene	20-ene	24-ene	27-ene	28-ene
7-N1-219	30-ene	30-ene	02-feb	03-feb	03-feb
7-N1-220	30-ene	30-ene	02-feb	04-feb	10-feb
7-N1-221	30-ene	30-ene	02-feb	05-feb	12-feb
8-N1-222	02-feb	02-feb	06-feb	07-feb	15-feb
8-N1-223	02-feb	02-feb	06-feb	08-feb	16-feb
8-N1-224	02-feb	02-feb	06-feb	09-feb	17-feb
9-N1-225	08-feb	08-feb	13-feb	17-feb	21-feb
9-N1-226	08-feb	08-feb	13-feb	18-feb	21-feb

## Anexo 5: Análisis de trabajo en curso en un sistema de producción por lotes

Análisis del trabajo en curso existente en un sistema basado en producción por lotes tomando como datos de partida los datos reales expuestos en el anexo anterior. Para ayudar al lector a entender el tiempo de producción de cada lote, éstos están representados con distintos colores para identificar con mayor facilidad el material en espera y el material en proceso de fabricación.

Un lote de productos puede tener distintos estados dependiendo de su posición en la línea de producción. Éste puede estar en proceso de fabricación o en espera. El estado de espera existe entre las estaciones 1 y 2 (lo que significa que la estación 2 está saturada) o entre las estaciones 2 y 3 (en este caso es la estación 3 la que se encuentra saturada).

Fecha	12-ene	13-ene	14-ene	15-ene	16-ene	17-ene	18-ene	19-ene	20-ene	21-ene
1. Line feeder:	4	3							3	
2 espera			3	3	3					
2. Previas:		4	4	4	4	3	3	3		3
3 espera									3	
3. Tablero:						4	3	2	1	3

Fecha	22-ene	23-ene	24-ene	25-ene	26-ene	27-ene	28-ene	29-ene	30-ene	31-ene
1. Line feeder:						3			3	
2 espera										
2. Previas:	3	3					3	3	3	3
3 espera										
3. Tablero:	2	1	3	2	1					3

Fecha	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb
1. Line feeder:		3					4	2		
2 espera									2	2
2. Previas:	3	3	3	3	3			4	4	4
3 espera										
3. Tablero:	2	1	3	2	1	3	2	1		

Fecha	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb	16-feb	17-feb	18-feb	19-feb	20-feb
1. Line feeder:							2			
2 espera	2									
2. Previas:	4	2	2					2	2	
3 espera				2	2					
3. Tablero:		4	3	2	1	2	1			2

## Anexo 6: Producción por lotes – Análisis monetario

Resultado del análisis del trabajo en curso en un sistema de producción por lotes visto en el anexo anterior desde el punto de vista económico. Al igual que el anexo previo, cada lote está identificado con un color para ayudar al lector a entender la producción en paralelo de distintos lotes.

Fecha	12-ene	13-ene	14-ene	15-ene	16-ene	17-ene	18-ene	19-ene	20-ene	21-ene
1. Line feeder:	83,7 €	62,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	62,8 €	0,0 €
2 espera	0,0 €	0,0 €	62,8 €	62,8 €	62,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
2. Previas:	0,0 €	448,8 €	448,8 €	448,8 €	448,8 €	336,6 €	336,6 €	336,6 €	0,0 €	336,6 €
3 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	336,6 €	0,0 €
3. Tablero:	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	731,3 €	548,5 €	365,6 €	182,8 €	548,5 €

Fecha	22-ene	23-ene	24-ene	25-ene	26-ene	27-ene	28-ene	29-ene	30-ene	31-ene
1. Line feeder:	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	62,8 €	0,0 €	0,0 €	62,8 €	0,0 €
2 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
2. Previas:	336,6 €	336,6 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	336,6 €	336,6 €	336,6 €	336,6 €
3 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
3. Tablero:	365,6 €	182,8 €	548,5 €	365,6 €	182,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	548,5 €

Fecha	01-feb	02-feb	03-feb	04-feb	05-feb	06-feb	07-feb	08-feb	09-feb	10-feb
1. Line feeder:	0,0 €	62,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	83,7 €	41,8 €	0,0 €	0,0 €
2 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	41,8 €	41,8 €
2. Previas:	336,6 €	336,6 €	336,6 €	336,6 €	336,6 €	0,0 €	0,0 €	448,8 €	448,8 €	448,8 €
3 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
3. Tablero:	365,6 €	182,8 €	548,5 €	365,6 €	182,8 €	548,5 €	365,6 €	182,8 €	0,0 €	0,0 €

Fecha	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb	16-feb	17-feb	18-feb	19-feb	20-feb
1. Line feeder:	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	41,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
2 espera	41,8 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
2. Previas:	448,8 €	224,4 €	224,4 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	224,4 €	224,4 €	0,0 €
3 espera	0,0 €	0,0 €	0,0 €	224,4 €	224,4 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €	0,0 €
3. Tablero:	0,0 €	731,3 €	548,5 €	365,6 €	182,8 €	365,6 €	182,8 €	0,0 €	0,0 €	365,6 €

## Anexo 7: Análisis de actividades de valor añadido – Situación final

Resultado final y clasificación del proceso de producción obtenido tras la implementación del proyecto. Cada una de las actividades definidas en el proceso final de producción se clasifican según el tipo de actividad (operación, transporte o retraso) y se evalúan de acuerdo al valor añadido que aportan.

			Datos de actividad			Evaluación de Valor		
			Operación	Transporte	Retraso	VA	ENVA	NVA
		Descripción de la actividad						
CORTE TUBO, SILICONA Y MALLA	1	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1				1	
	2	Coger de Kanban y posicionar rollo de tubo	1				1	
	3	Cortar tubo diámetro 23, 1500mm	1			1		
	4	Preparar tubo diámetro 23, 400mm	1			1		
	5	Preparar tubo diámetro 23, 430mm	1			1		
	6	Preparar tubo diámetro 17, 120mm	1			1		
	7	Preparar tubo diámetro 17, 1800mm	1			1		
	8	Preparar tubo diámetro 17, 700mm	1			1		
	9	Preparar tubo diámetro 17, 1000mm	1			1		
	10	Preparar tubo diámetro 12, 2400mm	1			1		
	11	Preparar tubo diámetro 12, 1050mm	1			1		
	12	Preparar tubo diámetro 12, 1200mm	1			1		
	13	Mirar apuntes y cortar etiquetas identificativas	1				1	
	14	Preparar silicona tipo 10, 800mm	1			1		
	15	Preparar silicona tipo 8, 1060mm	1			1		
	16	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			1		
	17	Preparar silicona tipo 8, 650mm x2	1			1		
	18	Preparar silicona tipo 6, 550mm	1			1		
	19	Preparar silicona tipo 6, 400mm	1			1		
	20	Preparar silicona tipo 6, 1160mm	1			1		
	21	Preparar silicona tipo 8, 900mm	1			1		
	22	Preparar silicona tipo 8, 1100mm	1			1		
	23	Preparar silicona tipo 8, 1200mm	1			1		
	24	Preparar silicona tipo 8, 650mm	1			1		
	25	Ir y preparar silicona tipo 4, 450mm	1			1		
	26	Preparar silicona tipo 4, 650mm	1			1		
	27	Preparar silicona tipo 4, 350mm x2	1			1		
	28	Agrupar siliconas	1				1	
	29	Mirar apuntes, recoger mallas y desplazarse a zona de corte de malla con etiquetas	1				1	
	30	Corte de malla, diámetro 25, 700 y 400mm	1			1		
	31	Recoger malla (zona Kanban, tubos)	1				1	
	32	Agrupar todo material (tubo, silicona, malla)	1				1	
ELECTRICA, TAPA Y SOPORTE	33	Coger y desembalar Caja Eléctrica	1				1	
	34	Poner etiquetas Tierra (3) en lateral caja	1			1		
	35	Ir a por spray (Barniz)		1				1
	36	Aplicar Barniz	1			1		



	37	Coger de Kanban tornillos para tierras y transformador		1				1
	38	Retaladrar soportes fijacc. Transform. en caja eléctrica	1					1
	39	Montar Transformador	1			1		
	40	Poner tornillos en tomas de tierra caja elect.	1			1		
	41	Desplazarse hasta Cizalla (cortar carriles)		1				1
	42	Cortar Perfiles (2) para caja eléctrica	1			1		
	43	Desplazarse con perfiles desde cizalla a P.T.		1				1
	44	Realizar taladros en carriles (2)	1			1		
	45	Desbarbar taladros en carriles	1			1		
	46	Volver a P.T. con carriles		1				1
	47	Coger remachadora y cambiar boquilla	1				1	
	48	Remachar perfiles en caja eléctrica	1			1		
	49	Numerar Bornas	1			1		
	50	Montar bornas y puentes en carril de caja	1			1		
	51	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1					1
	52	Coger mordaza		1				1
	53	Montar racores en extremos de caja eléctrica	1			1		
	54	Apretar racores con mordaza	1			1		
	55	Ir a estantería, coger y llevar a P.T. Soporte paso de tubos		1				1
	56	Coger de Kanban racores y llevar a P.T.	1					1
	57	Montar Racores en Soporte paso de Tubos	1			1		
	58	Desplazarse a por tapa caja eléctrica		1				1
	59	Preparar tapa de caja eléctrica	1			1		
	60	Coger de Kanban tornillos para tierras de tapa		1				1
	61	Poner tornillos en toma de tierra Tapa elect.	1			1		
	62	Ir a por perfil EPDM para tapa		1				1
	63	Poner perfil EPDM en Tapa	1			1		
	64	Coger Loctite 480 (Negro)		1				1
	65	Aplicar Loctite en uniones de perfil en tapa	1			1		
	66	Coger cinta carroceros para embalar		1				1
	67	Llevar Caja Eléctrica (sin embalar) a carro		1				1
PREPARACIÓN TROLLEY	68	Ir a por carro		1				1
	69	Llevar Caja Eléctrica (sin embalar) a carro		1				1
	70	Clasificación de material Suministrado por Almacén en Gaveta	1					1
	71	Selección de cables para Kit de Envío	1				1	
	72	Mirar apuntes y extraer cables de rollos	1				1	
	73	Seleccionar siliconas	1			1		
	74	Poner trozo de siliconas a cables	1			1		
	75	Buscar manguitos	1				1	
	76	Mirar apuntes y buscar terminales	1				1	
	77	Colocar parte trasera de carro	1					1
	78	Colocar parte delantera de carro	1					1
	79	Recoger resto de material sobrante	1					1
	80	Desplazar carro hasta zona previas		1				1

	81	Recoger puesto de trabajo	1					1
	82	Montar Racor recto en CM3 y CM4	1			1		
	83	Montar Racor recto en CM2	1			1		
	84	Montar Modulo conector en bastidor y sujetar con brida cremallera para CM2, CM3 y CM4	1			1		
PREPARACION CM2	85	Quitar tornillo de bastidor CM2 y sustituir por codificadores M y H	1			1		
	86	Cortar Pin Codificador a 10mm para CM2	1			1		
	87	Colocar Pin Codificar en Modulo conector CM2	1			1		
	88	Colocar Pines (suelos) en CM2	1			1		
	89	Coger herramienta para comprobación de pines en modulo		1				1
	90	Señalizar cables con manguitos para CM2	1			1		
	91	Pelar y engastar terminales en extremos de cables para CM2	1			1		
	92	Poner cable tierra en CM2	1			1		
	93	Mirar apuntes y terminar de conectar cables en CM2	1			1		
	94	Coger sacapines		1				1
	95	Colocar cables en carcasa CM2	1			1		
	96	Coger cinta de carrocerio		1				1
	97	colocar cables en Tubo "A"	1			1		
	98	Coger de carro derivación, clips de racores		1				1
	99	Quitar cinta de extremo e introducir cables por derivación	1			1		
	100	Colocar cables en tubo "E"	1			1		
	101	Colocar cables en tubo "F"	1			1		
	102	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			1		
	103	Medir y cortar sobrante a cables de tubo "F"	1			1		
	104	Señalizar con manguitos cables de tubo "F"	1			1		
	105	Coger terminales para cables tubo "F"	1				1	
	106	Pelar extremo de cables tubo "F"	1			1		
	107	Engastar terminales tubo "F"	1			1		
	108	Señalizar con manguitos cables de tubo "E"	1			1		
	109	Pelar extremo de cables tubo "E"	1			1		
	110	Engastar terminales tubo "E"	1			1		
	111	Recoger conector terminado CM2 y dejar en carro	1					1
PREPARACIÓN CM3	112	Poner codificadores macho en CM3	1			1		
	113	Coger Pines sueltos para CM3	1				1	
	114	Colocar Pin codificador en módulo CM3	1			1		
	115	Coger cables para CM3	1				1	
	116	Pelar extremo de cables apantallados	1			1		
	117	Desenredar malla de cable apantallado	1			1		
	118	Coger macarrón retráctil		1				1
	119	Cortar trozos de retráctil para malla de CM3	1			1		
	120	Poner y retraer macarrón retráctil en pantallas	1			1		
	121	Coger decapador		1				1
	122	Coger manguitos para cables CM3	1				1	
	123	Colocar Manguitos en cables CM3	1			1		

	124	Sanear extremos de cables apantallados	1			1		
	125	Pelar extremo de cables	1			1		
	126	Coger Pines	1					1
	127	Engastar Pines	1			1		
	128	Pelar conexión Malla	1			1		
	129	Engastar terminal en conexión malla	1			1		
	130	Poner Manguitos en Pantallas CM3	1			1		
	131	Preparar cables tierra	1			1		
	132	Poner Manguitos en Cables Tierra	1			1		
	133	Mirar apuntes y terminar de conectar conector CM3	1			1		
	134	Conectar cable tierra en CM3	1			1		
	135	Mirar apuntes y separar mangueras en CM3	1			1		
	136	Comprobar cable tierra en apuntes para CM3	1			1		
	137	Colocar cables en carcass CM3	1			1		
	138	Coger tubos "B" y "G"	1					1
	139	Poner tubo "B"	1			1		
	140	Coger bifurcación "T" de carro		1				1
	141	Colocar unión "T"	1			1		
	142	Poner tubo "G" con adaptador	1			1		
	143	Identificar mangueras con manguitos (B, C, D, E, L y M)	1			1		
	144	Coger mangueras con "T", medir y cortar el sobrante	1			1		
	145	Desferrar Mangueras "L" y "M" a L=1300 mm	1			1		
	146	Desenredar y cortar Malla a mangueras "L y M" cortando cable Nº 4	1			1		
	147	Pelar el resto de Mangueras a L=70 mm. (B, C, D, E)	1			1		
	148	Poner y retractilar macarrón en extremos de mangueras	1			1		
	149	Señalizar hilos de conexiones de Mangueras	1			1		
	150	Sujetar cables y quitar cinta a mangueras de extremos en tubo G	1			1		
	151	Identificar con manguitos Mangueras de tubo G	1			1		
	152	Medir y cortar sobrante de Mangueras	1			1		
	153	Desferrar extremos de Mangueras tubo G	1			1		
	154	Retractilar extremos de Mangueras	1			1		
	155	Señalizar hilos de conexiones de Pantallas	1			1		
	156	Coger y poner terminal a Tierra	1			1		
	157	Recoger conector CM3 terminado y colocar en carro	1				1	
PREPARACIÓN CM4	158	Coger cables para conector CM4	1					1
	159	Desferrar la Manguera "A" (3500 mm)	1			1		
	160	Quitar papel protector Manguera "A"	1				1	
	161	Medir y cortar cables 18,19,20 en ambos extremos	1			1		
	162	Desferrar la Manguera "K" (700mm)	1			1		
	163	Coger retráctil para Manguera "K" y "A"		1				1
	164	Poner y retraer retráctil en Manguera "K". Ext desferrado 700mm	1			1		

165	Desforrar extremo a 1320 en Manguera "K"	1			1		
166	Poner y retraer retráctil en extremo L=1320 Manguera "K"	1			1		
167	Tirar fundas y recoger puesto de trabajo		1				1
168	Poner retráctil en Manguera "A"	1			1		
169	Mirar apuntes, separar y agrupar cables en extremo de Manguera "A"	1			1		
170	Coger y organizar rollo de cables (cant. 11 seccion 1mm)	1			1		
171	Coger tubos C, D, M, A, N para CM4 y siliconas X3, X4, DHPBI1, DHPBI2	1				1	
172	Coger bifurcación		1				1
173	Coger Manguera "K", enrollar y sujetar con bridas 1320	1				1	
174	Poner bifurcación en extremo de 720 (Manguera "K")	1			1		
175	Coger Manguera "A", enrollar y sujetar con bridas (idem. 150)	1				1	
176	Poner bifurcación en Manguera "A"	1			1		
177	Coger grupos de cables (11) y conectar en las bifurcaciones con tubo D	1			1		
178	Poner tubo "C"	1			1		
179	Poner carcasa CM4	1			1		
180	Poner tubo "K" en extremo y poner cables (lado Manguera "A")	1			1		
181	Poner otra bifurcación para el tubo "K"	1			1		
182	Separar cables 227A2, 227DA	1			1		
183	Poner tubo "M"	1			1		
184	Poner tubo "N"	1			1		
185	Poner siliconas en cables de extremo tubo "N"	1			1		
186	Coger bridas de carro		1				1
187	Sujetar extremos de cables junto a carcasa CM4 con bridas	1			1		
188	Coger herramienta		1				1
189	Medir y cortar sobrante en cables de carcasa CM4	1			1		
190	Coger pines para CM4 (12 cables)	1				1	
191	Pelar cables para CM4 (mirar apuntes)	1			1		
192	Engastar pines en CM4 (12 cables)	1			1		
193	Pelar cables CM4 (11 cables)	1			1		
194	Engastar pines en CM4 (11 cables)	1			1		
195	Mirar apuntes, separar cables de Manguera "A" en CM4	1			1		
196	Pelar puntas de resto de cables de Manguera "A"	1			1		
197	Engastar pines del paso anterior	1			1		
198	Coger manguitos	1				1	
199	Coger tijeras		1				1
200	Ordenar manguitos	1				1	
201	Poner manguitos en cables de carcasa CM4 (33 manguitos)	1			1		
202	Conectar al módulo CM4 (con apuntes)	1			1		
203	Poner pin codificador (8)	1			1		

	204	Pelar, engastar y conectar Tierra en módulo CM4	1			1		
	205	Quitar tornillos y poner pin codificador (hembras)	1			1		
	206	Montar módulo en carcasa CM4	1			1		
	207	Poner clip en racores y bifurcaciones	1			1		
	208	Cortar cables de tubo "M" (según medida)	1			1		
	209	Cortar cables de la silicona	1			1		
	210	Extraer manguitos de cables, extremo opuesto a carcasa	1			1		
	211	Limpieza de puesto de trabajo		1				1
	212	Poner manguitos en cables de silicona	1			1		
	213	Poner manguitos en cables de tubo "M"	1			1		
	214	Poner manguitos en cables de tubo "A"	1			1		
	215	Poner manguitos en cables de tubo "K"	1			1		
	216	Poner terminales en cables de silicona X3, X4, y juntas de estanqueidad	1			1		
	217	Coger terminales para las siliconas X3 y X4	1				1	
	218	Coger herramienta engastadora		1				1
	219	Coger clips para bifurcaciones		1				1
	220	Poner clips en bifurcaciones	1			1		
	221	Ajustar con mordaza racor de carcasa CM4	1			1		
	222	Recoger conector terminado CM4 y colocar en carro	1				1	
	223	Llevar herramientas en tablero de la línea		1				1
KIT DE ENVÍO	224	Poner manguitos en cables de Kit de Envío	1			1		
	225	Poner terminales en cables silicona CM1	1			1		
	226	Agrupar Kit de Envío	1				1	
CABLEADO GENERAL	227	Recoger herramientas y llevar a tablero		1				1
	228	Coger caja eléctrica, quitar cinta y posicionar en el tablero	1				1	
	229	Coger y distribuir sobre el tablero CM2-3 y 4	1			1		
	230	Coger material, manguitos		1				1
	231	Separar cables de Manguera "K"	1			1		
	232	Coger de carro puentes y terminales	1				1	
	233	Coger Tierras e identificar con manguitos	1			1		
	234	Engastar terminales en extremo de cable Tierra	1			1		
	235	Distribuir cables Tierra por caja eléctrica	1			1		
	236	Levantar y recortar tapa de transformador	1				1	
	237	Coger terminal de Tierra		1				1
	238	Engastar terminal cable Tierra de "K" (con nota)	1			1		
	239	Coger caja de carraca		1				1
	240	Apretar tornillos de toma Tierra	1			1		
	241	Distribuir cables Tierra, maceando pequeños grupos	1			1		
	242	Separar cables de Manguera "K", dirección transformador	1			1		
	243	Identificar con manguitos	1			1		
	244	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar en el transformador	1			1		
	245	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar/poner al automático	1			1		

BA DE M	246	Ir a oficina a por herramienta, vaso de 7		1			1
	247	<b>Quitar tuercas de regleta de bornas (36)</b>	1			1	
	248	Poner brida a mazo de cable, lado automático	1			1	
	249	Terminar de macear con cables Tierra, usando 5 bridas	1			1	
	250	Medir, cortar sobrantes, pelar, engastar y conectar cables N5 y N, en puente de regleta de bornas	1			1	
	251	Poner puentes N1, N2, N3 y N4 e identificar con manguitos	1			1	
	252	Conectar puentes en bornas	1			1	
	253	Agrupar cables y crear mazo para regleta de bornas	1			1	
	254	Medir, cortar, pelar y engastar cables en caja eléctrica	1			1	
	255	Atornillar terminales en regleta de bornas (16)	1			1	
	256	Poner brida y macear cables paso prensa	1			1	
	257	Pelar cable apantallado B6	1			1	
	258	Coger retráctil y calentador		1			1
	259	Poner retráctil en extremo de cable B6	1			1	
	260	Pasar por prensa de cable B6	1			1	
	261	Coger manguitos y siliconas		1			1
	262	Mirar apuntes	1			1	
	263	Poner siliconas en cables de bobina y poner manguitos	1			1	
	264	Terminar extremos de apantallado F, J, G, H	1			1	
	265	Coger manguitos		1			1
	266	Distribuir cables y terminar extremos para VE-FR-EG, TRECAS1	1			1	
	267	Conectar MHPBI2, MHPBI1, X3, X4	1			1	
	268	Conectar CM2 en bornas de panel	1			1	
	269	Coger bobinas de carro, terminales y diodos	1			1	
	270	Preparar bobinas solenoides	1			1	
	271	Preparar bobinas DANFOSS	1			1	
	272	Conectar cables en bobinas	1			1	
	273	Coger herramienta engastadora Megatrack		1			1
	274	Coger Clemas		1			1
	275	Preparar terminales de 227A2, 227BA	1			1	
	276	Macear, medir, cortar, pelar, engastar lado 2 de regleta de bornas	1			1	
	277	Macarrón retráctil en cables reservas en caja eléctrica	1			1	
	278	Terminar extremos de pantallas B, E, D, C	1			1	
	279	Coger dinamométrica		1			1
	280	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			1	
	281	Dar par de apriete a 16 tornillos	1			1	
	282	Marcar par de apriete	1			1	
	283	Mirar apuntes y regular dinamométrica	1			1	
	284	Dar par de apriete tornillos Tierra	1			1	
	285	Marcar par de apriete (Tierra)	1			1	
	286	Apretar prensas de caja eléctrica	1			1	
	289	Colocar bornas de prueba	1			1	

	290	Ir a por probador y conectar a mazo	1				1	
	291	Realizar prueba	1			1		
	292	Desconectar mangueras de prueba	1				1	
	293	Inspeccionar mazo	1				1	
	294	Corregir errores de mazo	1			1		
KIT DE ENVÍO	295	Recoger mazo de tablero y embalar	1				1	
	296	Buscar manguitos para Kit de Envío		1				1
	297	Ir a por Engastadora Megatrack		1				1
	298	Limpiar puesto de trabajo	1					1

## Anexo 8: Corte de cable

Análisis de la demanda y del tiempo de producción de los distintos tipos de corte de cable. En este análisis se detallan los distintos modelos de producto con demanda en los próximos 6 meses de acuerdo al tiempo total de producción requerido, a su longitud, al tiempo de corte unitario, al tiempo de cambio y al número de componentes requeridos para fabricar dicho modelo (cuchillas, cables y cabezales). Por último, se identifica la demanda real de cada uno de los modelos de mazos eléctricos en los 6 meses de estudio.

Modelo	Tiempo total	Longitud	Tiempo corte unitario	Cambio	Cuchillas	Cable	Cabezales	Demanda de mazos
1	64,12	109,86	36,62	27,5	3	5	2	1
2	200,933	83,2	27,7333	30	1	5	3	4
3	153,2	53,4	17,8	41	1	8	2	4
4	29	9	3	14	1	2	2	5
5	5508,3	198,3	66,1	48	3	9	3	63
6	142,667	62,2	20,7333	39	1	7	3	5
7	5436	162,5	54,1667	48	3	9	3	72
8	1158,83	218,05	72,6833	48	3	9	3	10
9	1513,07	218,8	72,9333	41	3	8	2	14
10	528,667	107,6	35,8667	34	1	7	1	10
11	318,5	44,55	14,85	34	1	7	1	10
12	137,6	7,02	2,34	20,5	1	4	1	15
13	457	66,4	22,1333	25	1	5	1	15
14	27	0,6	0,2	7	1	1	1	30
15	2152,12	120,35	40,1167	39,5	1	6	5	31
16	444,3	120,6	40,2	27,5	1	5	2	9
17	575,883	191,95	63,9833	32	1	6	2	7
18	5124,67	407,97	135,99	45,5	2	9	2	33
19	96,8	6,45	2,15	7	1	1	1	32
20	3734,59	276,94	92,3133	70,5	4	14	3	29
21	1231,98	366,66	122,22	66	3	13	3	9
22	2641,95	118,39	39,4633	48	2	9	3	56



En esta segunda parte se detalla el proceso de fabricación del cableado para mazos eléctricos de acuerdo a la demanda de producto y a la disponibilidad de la maquinaria. Además, se identifica el tiempo de fabricación necesario y el porcentaje de utilización de la máquina de corte.

Semana	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Días	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Disponibilidad (min)	2250	2250	2250	900	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Necesidad (min)	1331	1255	1368	593	1594	1322	1725	695	1380	1285	1242	542,1	853,4
%Utilización	0,591	0,558	0,61	0,66	0,71	0,59	0,766	0,31	0,613	0,571	0,552	0,241	0,379

Semana	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Días	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5
Disponibilidad (min)	2250	2250	2250	2250	2250	1800	2250	2250	2250	2250	2250	2250	2250
Necesidad (min)	965	1182	334,7	972,1	807,1	328	868	1027	808	511	410	617	764
%Utilización	0,43	0,525	0,149	0,432	0,359	0,18	0,39	0,46	0,36	0,23	0,18	0,27	0,34

Semana	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Días	4	5	5	3	5	5	5	5	3	5	5	0
Disponibilidad (min)	1800	2250	2250	1350	2250	2250	2250	2250	1350	2250	2250	0
Necesidad (min)	655	1200	536	570	270	457	643	591	580	771	624	0
%Utilización	0,36	0,53	0,24	0,42	0,12	0,2	0,29	0,26	0,43	0,34	0,28	